

**Coberturas Ajardinadas.
A Importância do Substrato Técnico:
Contribuição para o seu Uso, com a Possibilidade de
Valorização de Resíduos.**

Rita Marau Gonçalves

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientadores: Professor Doutor Nuno Renato da Silva Cortez

Professor Doutor Nuno Joaquim Costa Cara de Anjo Lecoq

Júri:

(Presidente): Professor Doutor António José Guerreiro de Brito, Professor Associado com Agregação, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

(Vogais): Professor Doutor Nuno Renato da Silva Cortez, Professor Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Professora Doutora Ana Luísa Brito dos Santos de Sousa Soares, Professora Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

"I am strolling in a field listening to crickets and watching birds pluck insects from the dirt. Wildflowers bend in the wind. Warbles and thrushes flit about in the tall native grasses and soar over the rolling terrain. The scene is rich, beautiful, and lively – some might say wild. (...) I am standing on top of a building."

William McDonough, "A Field of Dreams"

Resumo

No presente trabalho propõem-se substratos técnicos alternativos e adequados às necessidades das coberturas ajardinadas, que sejam económicos e seguros para o ambiente e para a saúde pública. Simultaneamente, estes substratos técnicos permitem a valorização de resíduos, nomeadamente de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), tijolos danificados que não podem ser comercializados, resíduos de descasque de madeira, serrim, resíduos verdes e Resíduos Urbanos Indiferenciados, pois integram-nos na sua constituição.

Foram produzidos três substratos técnicos, os quais foram designados por A, B e C. O substrato técnico A integra na sua constituição RCD, tijolo triturado, areia, serrim, resíduos verdes e um composto para plantas de mercado. Por sua vez o substrato técnico B integra na sua constituição RCD, tijolo triturado, areia, resíduos de descasque de madeira, resíduos verdes e um composto para plantas de mercado. Por fim o substrato técnico C é composto por RCD, tijolo triturado, areia, serrim, resíduos verdes e um composto maioritariamente constituído por resíduos urbanos indiferenciados.

Fez-se ainda a comparação destes substratos técnicos com um substrato técnico de Mercado – *Siro® Roof* – que permite a criação de condições ideais para o desenvolvimento da vegetação em coberturas ajardinadas intensivas, semi-intensivas e extensivas (Siro, 2015).

Os resultados demonstram que o substrato técnico A é o melhor dos três substratos técnicos produzidos neste trabalho, uma vez que apresenta valores de distribuição granulométrica, conteúdo em matéria orgânica, permeabilidade à água, arejamento, massa volúmica aparente e de saturação, pH, teor de fósforo, potássio e teor dos metais pesados cádmio, cobre, níquel, chumbo, zinco e crómio que vão de acordo à bibliografia utilizada.

Palavras-chave: Coberturas Ajardinadas, Substrato Técnico, Valorização de Resíduos

Abstract

The present work proposes new and suitable growing mediums for green roofing, which are cheap and safe for the environment and public health. At the same time, these growing mediums encompass the use of wastes, namely, Construction and Demolition Waste (CDW), brick waste, wood processing waste, sawdust, garden and park waste and mixed municipal waste, by integrating them in their composition.

Three growing mediums have been produced and they have been designated as A, B and C. The growing medium A integrates CDW, brick waste, sand, sawdust, garden and park waste and a market plant's compost. The growing medium B integrates in its constitution RCD, brick waste, sand, wood processing waste, garden and park waste and the same market plant's compost as growing medium A. Finally yet importantly the growing medium C is composed of CDW, brick waste, sand, sawdust, garden and park waste and compost composed mostly of mixed municipal waste.

These growing mediums were also compared with a market growing medium – *Siro® Roof* – that allows the creation of ideal conditions for the development of vegetation in intensive, semi-intensive and extensive green roofs (Siro, 2015).

Results show that the growing medium A is the best of the three growing mediums produced due to its values in respect to granulometric distribution, organic content, water permeability, aeration, apparent and saturation density, pH, phosphorus, potassium and heavy metals cadmium, copper, nickel, lead, zinc and chromium content, according to the bibliography used.

Key words: Green Roofs, Growing medium, Waste valorization

Extended Abstract

Nowadays one can notice the growing trend towards the implementation of the principle of sustainable development in construction and architecture. This principle requires achieving environmental, social and economic objectives by ensuring that projects allow the integrity of ecosystems and promote climate stability and biodiversity conservation while being efficient for the development and balance of the local economy, without losing sight of social equity and cohesion.

In this way, it is appropriate for modern buildings to have green roofs, since these cover the expansion of the green area in the urban network, with the consequent positive impact on the environmental conditions, the quality of the cityscape, the quality of life of the population and the economic development.

It is important to rigorously choose the materials for the construction of green roofs and its application to the site, guaranteeing the safety and durability of the constructions and, consequently, human security.

The growing medium is the less understood element of green roofing. Thus, the present study intends to create new suitable growing mediums for green roofing, which are economic and safe for environment and public health.

At the same time, these growing mediums intent to allow the valorization of wastes, namely, Construction and Demolition Waste (CDW), brick cracks, wastes from wood processing, sawdust, garden and park wastes and mixed municipal wastes.

Three growing mediums have been produced, which have been designated as A, B and C. The growing medium A integrates in its constitution:

- 20% of CDW from *Jorplana Terraplanagem*, LTD.;
- 20% of Brick cracks, from *João Correia das Neves*, LTD.;
- 30% of *Lacrilar* sand;
- 10% of Sawdust from *Carpintaria Poleirinho*;
- 10% of garden and park wastes from *TRATOLIXO – Tratamento de Resíduos Sólidos, E.I.M., S.A*;
- 10% of *Eco Grow*[®] plant's compost.

The growing medium B integrates in its constitution:

- 20% of CDW from *Jorplana Terraplanagem*, LTD.;
- 20% of Brick cracks, from *João Correia das Neves*, LTD;
- 30% of *Lacrilar* sand;
- 10% of wastes from wood processing, more specifically *Pinus pinaster* bark;
- 10% of garden and park wastes from *TRATOLIXO – Tratamento de Resíduos Sólidos, E.I.M., S.A*;

- 10% of *Eco Grow*® plant's compost.

Finally, the growing medium C is composed by:

- 20% of CDW from *Jorplana Terraplanagem*, LTD.;
- 20% of Brick cracks, from *João Correia das Neves*, LTD;
- 30% of *Lacrilar* sand;
- 10% of Sawdust from *Carpintaria Poleirinho*;
- 10% of garden and park wastes from *TRATOLIXO – Tratamento de Resíduos Sólidos, E.I.M., S.A*;
- 10% of *Camproverde premium*®, which is a mixed municipal wastes compost created by *TRATOLIXO – Tratamento de Resíduos Sólidos, E.I.M., S.A*.

These growing mediums were also compared with a market growing medium – *Siro*® *Roof* –that allows the creation of ideal conditions for the development of vegetation in intensive, semi-intensive and extensive green roofs (Siro, 2015).

For the analysis of growing mediums A, B, C created in the present study, as well as the market growing medium, the requirements of the *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL)* were followed, due to the lack of national standards applicable to green roofing. Thus, the following properties of the technical substrates A, B, C and *Siro*® *Roof* were analyzed:

- Granulometric distribution;
- Organic content;
- Water permeability;
- Maximum water capacity;
- Aeration;
- Apparent density and saturation density;
- pH;
- Total nitrogen (N);
- Potassium (K₂O);
- Phosphorus (P₂O₅).

In addition, it was consider important to carry out a quantitative analysis of some heavy metals, such as cadmium (Cd), cupper (Cu), nickel (Ni), lead (Pb), zinc (Zn) and chromium (Cr), present in these growing mediums. Since, in this parameter, there is no regulatory legislation, the limit values stipulated for the concentration of heavy metals in agricultural soils of Decreto-Lei n. ° 276/2009 were follow.

In summary, *Siro*® *Roof* respects the granulometric distribution, water permeability and pH values recommended by *FLL*, with the recommended nitrogen content were slightly exceed.

The evaluation of organic matter, maximum water capacity and phosphorus content is not very conclusive due to the range of values provided by *Siro*[®] and, in respect to the aeration parameter, it can be affirmed that this substrate will only be indicated for intensive roof gardens. This substrate also respects the heavy metal contents tabulated by Decree-Law n.º 276/2009.

Growing mediums A and B comply with all parameters recommended by *FLL*, except for the nitrogen content which was slightly higher and the maximum water capacity which is only recommended for extensive green roofs with both multiple-course and single-course constructions. These growing mediums also respect the heavy metal contents tabulated by Decree-Law n.º 276/2009. Therefore, it can be state that use of sawdust or wastes from wood processing (the only distinct components between these two growing mediums) does not greatly influence the parameters in analyze. However, in growing medium B, a higher saturation density was observed in comparison to A and *Siro*[®] Roof.

For growing medium C, all the parameters recommended by *FLL* are respected, except for the nitrogen and phosphorus contents, which are exceeded, mainly because the mixed municipal wastes compost used in this growing medium has high values of these elements. This growing medium presents ideal values of organic matter (according to *FLL*) for the application on intensive roof gardens and respects heavy metals contents tabulated by the above-mentioned Decree-Law. However, it has a higher density of saturation in relation to A and *Siro*[®] Roof.

Consequently, it can be stated that growing medium A is the best of the three growing mediums produced in this work, in relation to the evaluated parameters. However, it should be taken into account the environmental conditions of the place where the garden roof will be placed, since different conditions may require changes in the composition of growing medium, therefore it cannot be stated that these growing medium will be suitable for all locations. In this case, other types of wastes may be used for the production of a growing medium, provided that percentages of recommended organic and inert materials are respected, as well as the other parameters mentioned, and the analysis carried out must be repeated.

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Extended Abstract	iii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xii
Lista de Abreviaturas	xiv
Introdução	1
Capítulo I – Enquadramento Histórico.....	4
1. Coberturas Ajardinadas da Antiguidade	4
2. Coberturas Ajardinadas da Idade Média e do Renascimento.....	5
3. Coberturas Ajardinadas desde 1600 a 1875	6
4. Coberturas Ajardinadas desde a Viragem do Século até à Segunda Guerra Mundial.....	7
5. Coberturas Ajardinadas do Pós Segunda Guerra Mundial	8
6. Evolução das Coberturas Ajardinadas em Portugal	8
Capítulo II – Coberturas Ajardinadas: Tipologias e Vantagens.....	12
1. Coberturas Ajardinadas: o que São?	12
2. Tipologias de Coberturas Ajardinadas.....	12
2.1. Coberturas Ajardinadas Extensivas.....	13
2.2. Coberturas Ajardinadas Intensivas	14
2.3. Coberturas Ajardinadas Semi-intensivas.....	15
2.4. Comparação entre as Coberturas Ajardinadas Intensivas e as Coberturas Ajardinadas Extensivas	16
2.5. Brown Roofs	17
Capítulo III – Benefícios das Coberturas Ajardinadas.....	19
1. Enquadramento	19
2. Benefícios.....	19
2.1. Benefícios Públicos	19
2.1.1. Melhoria da Qualidade do Ar	20
2.1.2. Aumento da Biodiversidade	21
2.1.3. Manutenção das Águas Pluviais.....	22
2.1.4. Mitigação do Efeito da Ilha de Calor Urbana	23

2.1.5. Aumento do Bem-estar e da Qualidade de Vida.....	24
2.1.6. Valorização Estética e Enquadramento Paisagístico.....	25
2.1.7. Desenvolvimento Agrícola em Zonas Urbanas.....	27
2.2. Benefícios Privados	29
2.2.1. Melhoria da Eficiência Energética.....	29
2.2.2. Aumento da Durabilidade da Membrana Impermeável.....	30
2.2.3. Diminuição do Risco de Incêndio.....	31
2.2.4. Diminuição da Poluição Sonora.....	31
2.3. Estudo Transversal dos Benefícios de uma Cobertura Ajardinada.....	33
Capítulo IV – Aspetos Relativos à Construção de Coberturas Ajardinadas.....	34
1. Enquadramento	34
1.1. Custos e Incentivos	34
1.1.1. Custos Inerentes à Construção de uma Cobertura Ajardinada.....	34
1.1.2. Incentivos à Construção de uma Cobertura Ajardinada.....	35
1.2. Camadas das Coberturas Ajardinadas	37
1.2.1. Membrana Impermeável	38
1.2.2. Camada de Proteção de Raízes.....	38
1.2.3. Isolamento Térmico	39
1.2.4. Sistema de Drenagem e de Retenção da Água.....	39
1.2.5. Camada Filtrante	40
1.2.6. Substrato Técnico	41
1.2.7. Vegetação.....	46
Capítulo V – Problemática Associada às Coberturas Ajardinadas	48
1. Enquadramento	48
2. Fundamentação.....	50
Capítulo VI – Proposta de Substratos Técnicos	52
1. Enquadramento	52
1.1. Possíveis Constituintes de um Substrato Técnico	52
1.1.1. Solo Natural	52
1.1.2. Areia	53
1.1.3. Xisto, Ardósia ou Argila Expandidos	53

1.1.4. Diatomaceous Earth	54
1.1.5. Isolite	55
1.1.6. Perlite e Vermiculite	55
1.1.7. Zeolite	55
1.1.8. Poliestireno Expandido	55
1.2. Substrato Técnico Ótimo	55
1.3. Materiais e Métodos.....	56
1.3.1. Componentes dos Substratos Técnicos a Produzir	56
1.3.2. Substrato Técnico de Mercado	63
1.3.3. Proporção e Custo de cada Componente nos Substratos Técnicos a Produzir	64
1.3.4. Produção dos Substratos Técnicos	65
1.3.5. Análise dos Substratos Técnicos	66
1.4. Resultados.....	68
1.5. Discussão	69
1.6. Conclusão.....	75
Referências Bibliográficas.....	78
ANEXOS	86
Anexo I	87
Anexo II	88
Anexo III	89
Anexo IV	90
Anexo V.....	91

Índice de Figuras

Figura 1 – Cobertura ajardinada do templo de pedra de Nanna (Osmundson, 1999).....	4
Figura 2 – Secção dos jardins suspensos da Babilónia (Osmundson, 1999).....	4
Figura 3 – Cobertura ajardinada da Torre de Guinigi, em Lucca, Itália (cortesia de Pietro Bertolotto).....	5
Figura 4 – Cobertura ajardinada no palácio papal de Pienza (Osmundson, 1999).....	5
Figura 5 – Plano dos terrenos e edifícios do palácio Kremlin em Moscovo (Osmundson, 1999).6	
Figura 6 – Cobertura ajardinada do palácio Hermitage (The State Hermitage Museum, 2016)...	6
Figura 7 – Edifícios na Noruega com "telhado relvado" (Idias, 2010).....	7
Figura 8 – Cobertura ajardinada do Oakland Museum, Califórnia, Estados Unidos da América (Oakland Museum of California, 2016).	8
Figura 9 – Cobertura ajardinada do Hotel Ritz, em Lisboa (Google, Inc., 2015).....	8
Figura 10 – Planta da Gulbenkian com as zonas verdes sobre cobertura (Costa, 2010).....	9
Figura 11 – Jardim das Oliveiras, sobre o parque de estacionamento do Centro Cultural de Belém (Four Seasons Hotels Limited , 2016).....	10
Figura 12 – Cobertura ajardinada da Sede do Banco Mais, em Lisboa (Arquitectos, 2016).....	10
Figura 13 – Cobertura ajardinada da ETAR de Alcântara, Lisboa (PROAP - Estudos e Projectos de Arquitectura Paisagista, Lda , 2013).....	11
Figura 14 – Diferentes tipologias de coberturas ajardinadas (Osmundson, 1999).....	12
Figura 15 – Exemplo de cobertura ajardinada extensiva (ZinCo, 2016d).....	13
Figura 16 – Exemplo de cobertura ajardinada intensiva (ZinCo, 2016e).....	15
Figura 17 – Exemplo de Brown Roof (Culham, 2011).....	17
Figura 18 – Imagem Virtual de Nova Iorque com os seus edifícios com coberturas ajardinadas (Green Education Center, 2016).....	26
Figura 19 – Impacte visual da construção de coberturas ajardinadas em Líncia, na Áustria (Booyesen, 2014).....	26
Figura 20 – Jardim de cobertura do Hotel Fairmout Waterfront, em Vancouver, no Canadá (Michigan State University, 2016a).....	27

Figura 21 – Cobertura ajardinada EcoHouse, em Petersburgo, na Rússia (Earth Pledge, 2005).....	28
Figura 22 – Cobertura ajardinada do edifício da Gap 901 Cherry Hill, na Califórnia, Estados Unidos da América (Greenroofs.com, 2015).....	32
Figura 23 – Perfil de uma cobertura ajardinada com os elementos que a constituem (The Begetter, 2013).....	37
Figura 24 – Aplicação de uma <i>Modified bituminous membranes</i> na cobertura de um edifício (Earth Pledge, 2005).....	38
Figura 25 – Aplicação de <i>Extruded polystyrene</i> numa cobertura ajardinada (Earth Pledge, 2005).....	39
Figura 26 – Sistema de Drenagem e de Retenção da Água de uma cobertura ajardinada (Earth Pledge, 2005).....	40
Figura 27 – Aplicação de um substrato técnico numa cobertura ajardinada (Earth Pledge, 2005).....	41
Figura 28 – Escombros do <i>Maxima Shopping Center</i> em Riga, Letónia, em março de 2014 (Google, Inc., 2015).....	48
Figura 29 – Cobertura ajardinada do St. Charles, em Illinois, Estados Unidos da América antes e após o colapso (adaptado de Laylin, 2013).....	49
Figura 30 – Problema associados ao uso de solo em vez de substrato técnico numa cobertura ajardinada (ZinCo, 2015).....	52
Figura 31 – Uma partícula de Leca seccionada (Osmundson, 1999, p. 176).....	54
Figura 32 – <i>Pellets de Diatomaceous Earth</i> (Osmundson, 1999, p. 177).....	54
Figura 33 – Resíduos de Construção e Demolição utilizados (Fotografia da autora).....	57
Figura 34 – Tijolos danificados utilizados (Fotografia da autora).....	58
Figura 35 – Areia utilizada nos substratos técnicos produzidos (Fotografia da autora).....	58
Figura 36 – Descasque de <i>Pinus pinaster</i> utilizado no presente estudo (Fotografia da autora).....	59
Figura 37 – Serrim utilizado nos substratos técnicos produzidos (Fotografia da autora).....	60
Figura 38 – Resíduos verdes utilizados nos substratos técnicos produzidos (Fotografia da autora).....	61

Figura 39 – Composto para plantas <i>EcoGrow</i> ® utilizado nos substratos técnicos produzidos (Fotografia da autora).....	61
Figura 40 – Composto para plantas <i>Camproverde premium</i> ® utilizado nos substratos técnicos produzidos (Fotografia da autora).....	62
Figura 41 – Substrato técnico <i>Siro</i> ® <i>Roof</i> (Fotografia da autora).....	63
Figura 42 – Detritos de RCD (à esquerda) e detritos de tijolo (à direita) após terem sofrido trituração manual (Fotografia da autora).....	65
Figura 43 – Aspeto final dos resíduos verdes (Fotografia da autora).....	65
Figura 44 – Substratos técnicos A, B e C (da esquerda para a direita) produzidos no presente estudo (Fotografia da autora).....	65
Figura 45 – Valores limite de concentração de metais pesados nos solos em função do seu pH.....	90
Figura 46 – Influência do pH de um substrato na disponibilidade dos nutrientes para as plantas (The Potash Development Association, 2011).....	91

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Principais características das diferentes tipologias de coberturas ajardinadas (Palha, 2011).....	13
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens adjacentes às coberturas ajardinadas extensivas e intensivas.....	16
Tabela 3 – Albedo dos diferentes tipos de superfície utilizados nas coberturas dos edifícios (Costa, 2010).....	24
Tabela 4 – Valores recomendados para as quantidades de argila e limo nos substratos técnicos, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 47).....	43
Tabela 5 – Valores recomendados para a dimensão dos agregados em função da profundidade do substrato técnico (Adaptado de: FLL, 2002, p.47).....	43
Tabela 6 – Valores recomendados para o conteúdo em matéria orgânica de um substrato técnico, em função da sua densidade aparente e do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 49).....	44
Tabela 7 – Valores recomendados para a permeabilidade do substrato técnico à água, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 50).....	44
Tabela 8 – Valores recomendados para a capacidade de retenção de água, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 50).....	44
Tabela 9 – Proporção recomendada de poros de largura grosseira num substrato técnico, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 50).....	45
Tabela 10 – pH recomendado para o substrato técnico, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 50).....	45
Tabela 11 – Conteúdo em sais recomendado para um substrato técnico, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 51).....	45
Tabela 12 – Conteúdo em nutrientes recomendado para um substrato técnico (Adaptado de: FLL, 2002, p. 51).....	46
Tabela 13 – Características do descasque de <i>Pinus pinaster</i> utilizado no presente estudo (AKÍa, 2016).....	59
Tabela 14 – Propriedades do Composto para plantas <i>Eco Grow</i> ® (AKÍb, 2016).....	62
Tabela 15 – Propriedades do Composto para plantas <i>Campoverde premium</i> ®.....	63

Tabela 16 – Percentagem de cada constituinte dos substratos técnicos A, B e C e custos a si associados.....	64
Tabela 17 – Métodos laboratoriais utilizados para a análise dos substratos técnicos A, B, C e para o substrato técnico <i>Siro® Roof</i>	67
Tabela 18 – Resultados obtidos para substratos técnicos A, B, C e e para o substrato técnico <i>Siro® Roof</i>	68
Tabela 19 – Gama de custos para a construção de uma cobertura ajardinada extensiva e principais variáveis que determinam esses custos (Adaptado de Peck & Kuhn, Design Guidelines for Green Roofs, 2000).....	87
Tabela 20 – Gama de custos para a construção de uma cobertura ajardinada intensiva e principais variáveis que determinam esses custos (Adaptado de Peck & Kuhn, Design Guidelines for Green Roofs, 2000).....	88
Tabela 21 – Valores aconselhados pela FLL para coberturas ajardinadas.....	89

Lista de Abreviaturas

a.C. – Antes de Cristo

AMTRES – Associação de Municípios de Cascais, Mafra, Oeiras e Sintra para o Tratamento de Resíduos Sólidos

CaCl₂ – Cloreto de cálcio

CAM – *Crassulacean Acid Metabolism*

CBA – Centro de Biologia Ambiental

CDA – Centro de Digestão Anaeróbia

CDW – Construction and Demolition Waste

Cd – Cádmio

Cr – Crómio

CSO – *Combined Sewage Overflow*

Cu – Cobre

EPDM – Borracha de Etileno-Propileno Dieno

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FLL – *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau*

HDPE – *High-density polyethylene*

HNO₃ – Ácido nítrico

Hg – Mercúrio

K₂O – Óxido de potássio

KCl – Cloreto de potássio

LDPE – *Low-density polyethylene*

LER – Lista Europeia de Resíduos

Mg – Magnésio

N – Azoto

Ni – Níquel

NO₂ – Dióxido de azoto

O₃ – Ozono

P – Fósforo

Pb – Chumbo

PM₁₀ – Partículas de dimensões menores do que 10 µm

PVC – *Polyvinyl chloride*

P₂O₅ – Pentóxido de Fósforo

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RUMA – Regulamento Urbanístico do Município de Almada

SO₂ – Dióxido de enxofre

TPO – Poliolefina termoplástica

UE – União Europeia

Zn – Zinco

Introdução

Atualmente, mais da metade da população mundial vive em cidades e está estimado que em 2030 viverão em meio urbano quase 5000 milhões de pessoas e que em 2050 mais de 6000 milhões (correspondentes a 70% da população) o farão (FAO, 2011). As grandes cidades estão quase totalmente cobertas por estradas, edifícios e parques de estacionamento construídos à custa da destruição de ecossistemas naturais e que acabam por prejudicar o ser humano. De facto, e apesar da vida urbana disponibilizar diversos serviços, os atuais ambientes urbanos diminuem a qualidade de vida da população. Como exemplo disto tem-se a poluição atmosférica que provoca doenças respiratórias ou o desencorajamento à prática de atividade física e ao convívio social, devido à superlotação, ao tráfego e à carência de espaços públicos seguros para estes fins (World Health Organization, 2010).

Porém, recentemente observa-se uma tendência crescente para a implementação do princípio do desenvolvimento sustentável nas empresas de construção e arquitetura (Gusta, 2015). Este princípio requer que se atinjam objetivos a nível ambiental, social e económico, assegurando que os projetos dos edifícios permitam a integridade dos ecossistemas e promovam a estabilidade climática e a conservação da biodiversidade, sendo ao mesmo tempo eficientes para o desenvolvimento e equilíbrio da economia local e mundial, sem descuidar a equidade e coesão social e a responsabilização das partes intervenientes.

Deste modo será adequado que os edifícios modernos possuam uma cobertura ajardinada, ou seja, um espaço de cobertura plantado com a intenção de proporcionar prazer humano e/ou melhoria ambiental, que está separado do solo por um edifício ou outra estrutura (Osmundson, 1999, p. 13). Estas coberturas permitem a expansão da área verde na malha urbana, com o consequente impacto positivo nas condições ambientais, na qualidade da paisagem citadina, na qualidade de vida das populações e no desenvolvimento económico (Palha, 2011).

A primeira referência histórica relativa a coberturas ajardinadas reporta ao ano 600 a.C. e corresponde aos templos de pedra da antiga Mesopotâmia (Osmundson, 1999, pp. 112, 113). Sendo que as coberturas ajardinadas são referidas ao longo da história, tanto com fins estéticos, como é o caso do jardim da Torre de Guinigi, em Lucca, Itália (1384), bem como para conforto térmico como os “telhados relvados” noruegueses (séc. XVII) e até mesmo como meio de ostentação de riqueza, como no caso da cobertura ajardinada do palácio Kremlin (séc. XVII) ou como espaço de lazer, como o *The Casino Theater* em Nova Iorque, nos Estados Unidos da América (1882). Acrescenta-se ainda que em Portugal as coberturas ajardinadas começaram a emergir apenas na década de 50, sendo a cobertura ajardinada do Hotel Ritz, Lisboa (1959), a pioneira.

Relativamente à sua tipologia as coberturas ajardinadas podem ser classificadas em extensivas, semi-intensivas ou intensivas, dependendo da profundidade do substrato, assim

como da acessibilidade ao público e das necessidades de rega e manutenção (Castelo-Branco, 2012, p. 6). Deve acrescentar-se que existem ainda diversas variantes de Coberturas Ajardinadas Semi-intensivas, que possuem características diversas, pertencentes tanto às coberturas ajardinadas extensivas como às intensivas. Para além destas três tipologias de coberturas ajardinadas existe ainda uma outra classe denominada *Brown Roofs* ou *Biodiverse Roofs*, que são essencialmente coberturas ajardinadas onde o substrato técnico não é plantado/semado pelo Homem, permitindo que a ecologia que estava presente antes da construção dos edifícios se restabeleça naturalmente.

As coberturas ajardinadas oferecem benefícios múltiplos de ordem Ambiental, Económica, Estética e Social, que não são mutuamente exclusivos, influenciando-se entre si. Na tentativa da sua categorização é possível dividir estes benefícios em Públicos, que são mais efetivos aquando da instalação de coberturas ajardinadas em larga escala ou Privados, quando os benefícios se fazem maioritariamente sentir no edifício onde é instalada a cobertura ajardinada (Palha, 2011).

Entre os benefícios públicos tem-se: a melhoria da qualidade do ar, o aumento da biodiversidade, a manutenção das águas pluviais (quantitativa e qualitativamente), a mitigação do efeito de ilha de calor urbana, o aumento do bem-estar e da qualidade de vida da população local, a valorização estética e enquadramento paisagístico e o desenvolvimento agrícola em zonas urbanas.

Por sua vez os benefícios privados oferecidos pelas coberturas ajardinadas são a melhoria da eficiência energética, o aumento da durabilidade da membrana impermeável, a diminuição do risco de incêndio e a diminuição da poluição sonora.

Para que os benefícios das coberturas ajardinadas sejam efetivos e rentáveis do ponto de vista económico é necessário terem-se em consideração os aspetos relativos à correta construção de uma cobertura ajardinada, bem como aos custos e incentivos associados a essa construção. Atualmente, alguns governos utilizam ferramentas que incentivam à construção de coberturas ajardinadas tanto a nível de edifícios públicos, como dos privados, como por exemplo incentivos financeiros diretos ou indiretos e estratégias que visem a proteção do meio ambiente e a regulamentação do ordenamento urbano e da construção de edifícios (Raposo, 2013).

Relativamente à sua construção, como uma cobertura convencional, uma cobertura ajardinada é composta por camadas, possuindo pelo menos sete elementos base, que permitem o crescimento da vegetação e simultaneamente protegem a estrutura do edifício. Ordenando de baixo para cima as camadas são as seguintes: membrana impermeável, camada de proteção

de raízes, isolamento térmico, sistema de drenagem e de retenção da água, camada filtrante, substrato técnico e vegetação (Earth Pledge, 2005, p. 134).

Uma falha num destes elementos poderá ser o suficiente para prejudicar toda a cobertura ajardinada e, conseqüentemente, o edifício sobre o qual a mesma está construída. Assim, é de extrema importância que haja rigor na escolha dos materiais e na sua aplicação ao local (Osmundson, 1999, p. 163), garantindo a segurança e a durabilidade das construções e, conseqüentemente, a segurança humana.

Têm-se presenciado alguns acidentes relacionados com a má construção de coberturas ajardinadas. Por exemplo, em 2011 a cobertura ajardinada do *St. Charles*, sede da empresa de construção *Aquascape*, em Illinois, Estados Unidos da América, ruiu parcialmente e em 2013 a cobertura ajardinada do *Maxima Shopping Center* em Riga, na Letónia, colapsou.

Ora, o substrato técnico é o elemento menos compreendido e sobre o qual menos pesquisas foram efetuadas. Este é muito mais do que um solo comum e a sua composição deve ser determinada pela capacidade de retenção de água, peso, arejamento e capacidade de retenção de nutrientes, características baseadas na porosidade e na dimensão das partículas (Earth Pledge, 2005, p. 135). A composição do substrato técnico deverá ser adequada ao tipo de cobertura ajardinada (extensiva, semi-intensiva ou intensiva) a que se destina, à localização da mesma e ao tipo de plantas que se irão utilizar.

Estudos referem que um substrato técnico ótimo deverá ser constituído por 45% de areia esterilizada e com partículas de dimensão homogeneia, 45% de xisto, ardósia ou argila expandidos e 10% de húmus (Osmundson, 1999, p. 177). Outra bibliografia afirma que um substrato técnico deverá conter 75-80% de material inerte e de 20-25% de material orgânico, de modo a que o arejamento, a drenagem da água e a retenção de nutrientes sejam eficientes (Greenroofs.com, 2016).

Assim considera-se importante a realização de um estudo que culmine na criação de novos substratos técnicos adequados às necessidades de uma cobertura ajardinada, isto é, que sejam leves e porosos, permitam uma boa drenagem e retenham a humidade e, claro, que não apresentem problemas do ponto de vista ambiental e que sejam seguros para o Homem.

Simultaneamente pretende-se que estes substratos técnicos permitam a valorização de resíduos, nomeadamente Resíduos de Construção e Demolição (RCD), tijolos danificados que não podem ser comercializados, resíduos de descasque de madeira, serrim, resíduos verdes e Resíduos Urbanos Indiferenciados, de modo a que permitam substituir os materiais atualmente utilizados, como o xisto, a ardósia ou a argila expandidos, que requerem elevada energia aquando da sua produção (Michigan State University, 2016b).

Capítulo I – Enquadramento Histórico

1. Coberturas Ajardinadas da Antiguidade

A primeira referência histórica relativa a coberturas ajardinadas reporta ao ano 600 a.C. e consiste nos templos de pedra da antiga Mesopotâmia onde era plantada vegetação. O templo de *Nanna* (Figura 1), na cidade anciã de Ur (atual Muqaiyir, Iraque) é o que se encontra em melhor estado de preservação e possui uma estrutura interna em barro e um revestimento em tijolo, tendo no total 21 m de altura. O acesso ao topo, onde se encontravam o santuário e os jardins, era efetuado através de escadarias (Osmundson, 1999, pp. 112, 113).

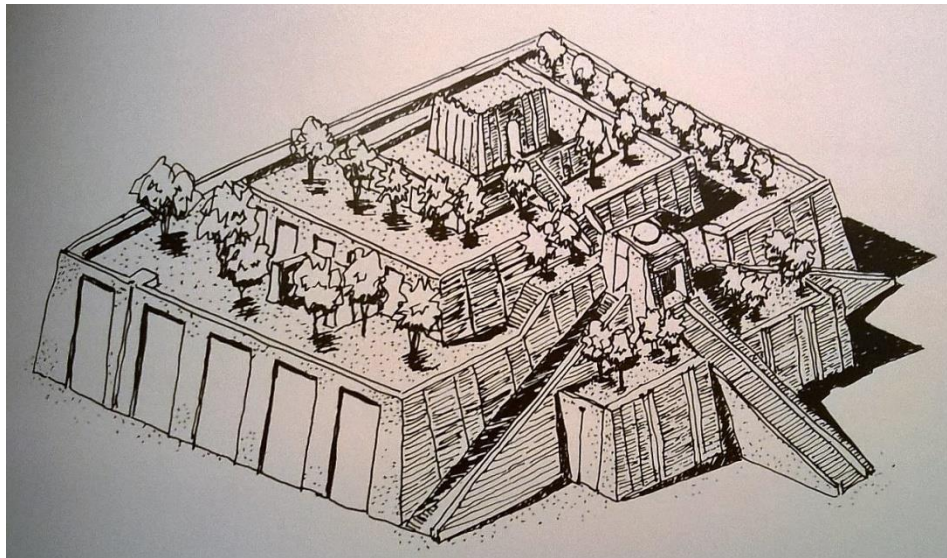


Figura 1 – Cobertura ajardinada do templo de pedra de Nanna (Osmundson, 1999).

Porém, é conferido maior reconhecimento aos Jardins Suspensos da Babilónia (Figura 2), uma das Sete Maravilhas do Mundo Antigo, construídos aquando do reinado do rei Nebuchadrezzar II, 605-562 a.C. (Osmundson, 1999). Estes continham uma sequência de terraços em patamares, que ocupavam um total de 1089 m² e, na sua estrutura, possuíam pilares de pedra, alguns com 5,3 m, que lhes conferiam robustez permitindo suportar a vegetação dos jardins, que incluía árvores de grande porte. Na sua estrutura estavam também integradas condutas para encaminhamento da água de rega (Finkle, 1989).

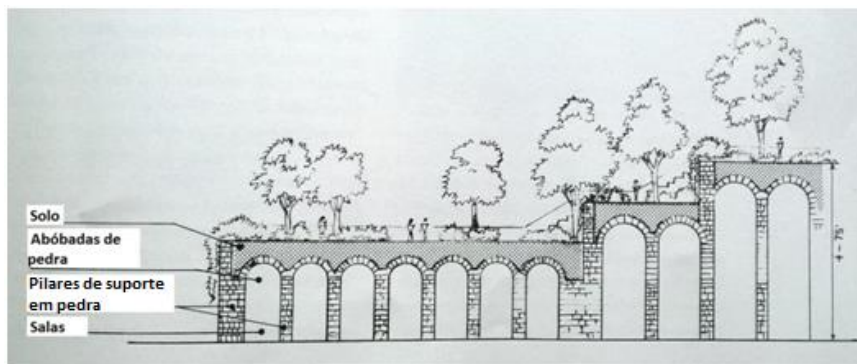


Figura 2 – Secção dos jardins suspensos da Babilónia (Osmundson, 1999).

2. Coberturas Ajardinadas da Idade Média e do Renascimento

As coberturas ajardinadas mais relevantes desta época foram construídas em Itália. São exemplo das mesmas: o jardim da Torre de *Guinigi*, em Lucca (1384) (Figura 3) e o *Medici Roof Garden*, em Careggi.



Figura 3 – Cobertura ajardinada da Torre de Guinigi, em Lucca, Itália (cortesia de Pietro Bertolotto).

Porém, um dos primeiros e mais bem preservados jardins de cobertura da Itália renascentista foi construído durante o pontificado do Papa Pius II (1458-64), no *Palazzo Piccolomini* em Pienza, Itália (Figura 4). Este jardim encontra-se nas traseiras do edifício, construído sobre uma estrutura de pedra maciça que desce a encosta de um cume. Sob o jardim estão as câmaras do palácio com uma cota de 3-3,7m, que culminam num teto abobadado (Osmundson, 1999, p. 116).

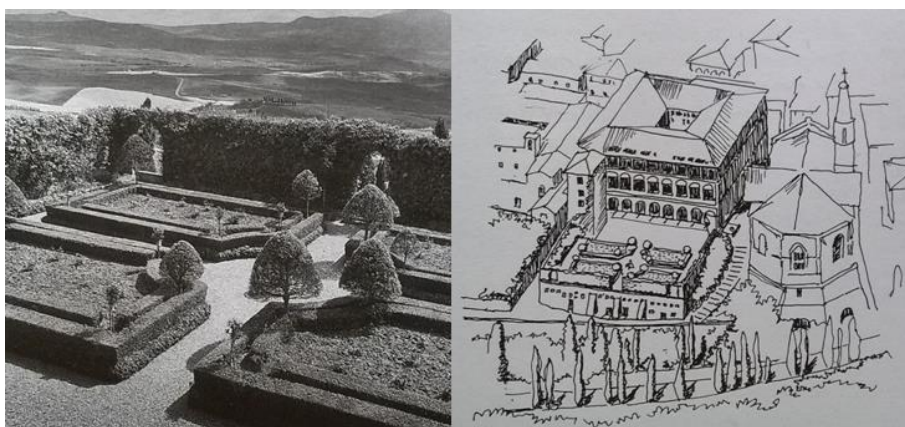


Figura 4 – Cobertura ajardinada no palácio papal de Pienza (Osmundson, 1999).

3. Coberturas Ajardinadas desde 1600 a 1875

Na Rússia czarista, as coberturas ajardinadas eram vistas como uma ostentação luxuosa das famílias nobres. No séc. XVII, uma extensa cobertura ajardinada (de quatro hectares) foi instalada ao nível dos quartos do palácio Kremlin (Figura 5). Para além da vegetação variada de árvores de fruto e arbustos, os jardins continham fontes de água. A impermeabilização necessária foi conseguida através do uso de folhas de chumbo soldadas e a elevada carga foi suportada pela estrutura das salas abaixo, que incluía tetos abobadados, estacas e vigas robustas (Osmundson, 1999, pp. 118-120).

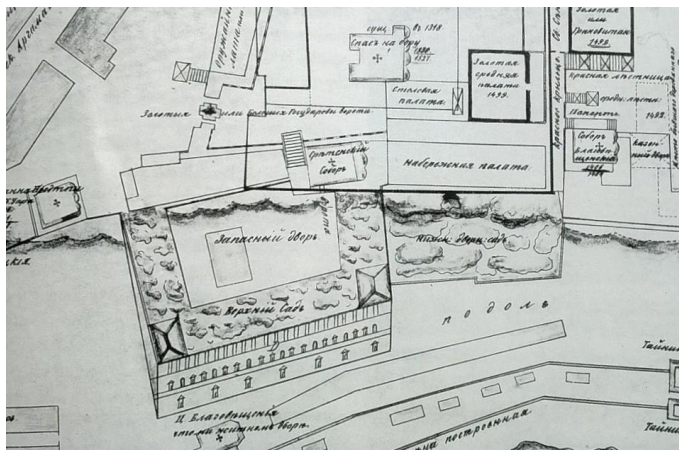


Figura 5 – Plano dos terrenos e edifícios do palácio Kremlin em Moscovo (Osmundson, 1999).

Também na Rússia, em São Petersburgo, destaca-se a cobertura ajardinada projetada pelo arquiteto italiano Bartolomeo Francesco Rastrelli para o Palácio de Inverno *The Hermitage* da Imperatriz Catherine II (1729-96) (Figura 6).



Figura 6 – Cobertura ajardinada do palácio Hermitage (The State Hermitage Museum, 2016).

Destacam-se, na mesma época, os “telhados relvados” noruegueses (Figura 7), desenvolvidos com o intuito de conferir um maior conforto térmico às habitações e aos edifícios das quintas durante a época de baixas temperaturas. Estes telhados eram cobertos por terra e posteriormente recebiam plantas herbáceas. Relativamente à sua construção denotam-se preocupações a nível estrutural, sendo estes elaborados de modo a suportar a terra e a permitir a drenagem da água, impedindo infiltrações (Osmundson, 1999, p. 121).



Figura 7 – Edifícios na Noruega com "telhado relvado" (Idias, 2010).

4. Coberturas Ajardinadas desde a Viragem do Século até à Segunda Guerra Mundial

Na viragem do século existiam inúmeros jardins de cobertura nos Estados Unidos da América designados *Theater Roof Gardens*. Estes tinham a função de áreas de lazer para a época de verão, estando equipados com palcos e, por vezes, bares ou até mesmo restaurantes. Como exemplo salientam-se o *The Casino Theater* (1882), o *Madison Square Garden* e o *Oscar Hammerstein's Olympia Music Hall* (1895), todos em Nova Iorque.

Alguns proprietários de hotéis ou de habitações de elevado valor da cidade de Nova Iorque, pretendendo acompanhar esta tendência, decidiram implementar estas coberturas ajardinadas no topo dos seus edifícios. Como exemplo tem-se a cobertura ajardinada do *Hotel Astor* (1920).

5. Coberturas Ajardinadas do Pós Segunda Guerra Mundial

Com a depressão pós-guerra e os novos interesses artísticos dos arquitetos, praticamente não houve construção de novas coberturas ajardinadas até ao final da década de 50, início da década de 60. Este período presenciou a construção das coberturas ajardinadas no *Kaiser Center* e no *Oakland Museum* (Figura 8), ambos na Califórnia, Estados Unidos da América (Osmundson, 1999, pp. 126-127).



Figura 8 – Cobertura ajardinada do Oakland Museum, Califórnia, Estados Unidos da América (Oakland Museum of California, 2016).

Desde este período até à atualidade, inúmeras coberturas ajardinadas têm sido construídas; porém o seu número é relativamente baixo quando comparado com o considerável número de edifícios que poderiam potencialmente acolher uma cobertura deste género (Osmundson, 1999, p. 127).

6. Evolução das Coberturas Ajardinadas em Portugal

Em Portugal as coberturas ajardinadas começaram a emergir apenas na década de 50, sendo a cobertura ajardinada do Hotel Ritz, em Lisboa (1959), a pioneira. Esta foi projetada pelos Arquitetos Paisagistas Viana Barreto, Álvaro Dentinho e Albano Castelo Branco (Figura 9) (Costa, 2010, pp. 68-69).



Figura 9 – Cobertura ajardinada do Hotel Ritz, em Lisboa (Google, Inc., 2015).

Por sua vez, em 1969 foi construída a cobertura ajardinada sobre o parque subterrâneo da Fundação Calouste Gulbenkian, em Lisboa (Figura 10), pelos Arquitetos Paisagistas Gonçalo Ribeiro Telles e António Facco Viana Barreto (Costa, 2010, p. 70). Esta cobertura, que ocupa 4451 m² de área, tem sido trabalhada ao longo do tempo com base nas regras da paisagem, reproduzindo os códigos da ecologia da paisagem vernacular portuguesa, presentes na escolha, consociação e localização das espécies vegetais. Isto permitiu a criação de micropaisagens capazes de atrair a fauna silvestre (Fundacao Calouste Gulbenkian, 2016).

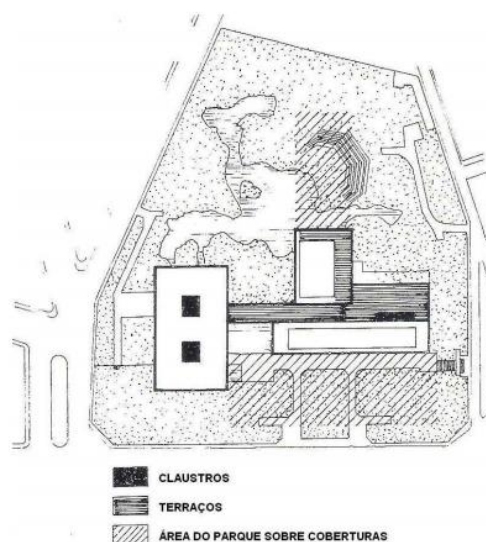


Figura 10 – Planta da Gulbenkian com as zonas verdes sobre cobertura (Costa, 2010).

No começo dos anos 80, o Arquiteto Paisagista Manuel Sousa da Câmara projetou o espaço verde sobre a cobertura do edifício da Portugal Telecom, em Picoas, Lisboa. Este projeto apresentava um eficiente sistema de drenagem, componente de extrema importância para a sustentabilidade do mesmo, pela implícita preocupação na gestão dos recursos necessários à sua dimensão, sem descurar uma forte componente estética, possível de ser observada ao mesmo nível ou de pontos superiores nos edifícios adjacentes (Costa, 2010, p. 21).

Posteriormente, no início dos anos 90, é criado pelo *atelier* do Arquiteto Paisagista Francisco Caldeira Cabral, o Jardim das Oliveiras, sobre o parque de estacionamento do Centro Cultural de Belém, em Lisboa (Figura 11). Este jardim assume uma atitude pós-modernista na estética e, apesar de conjugar elementos naturais autóctones, as preocupações éticas de sustentabilidade não são tão evidentes na gestão dos recursos utilizados como no jardim acima referido (Costa, 2010, p. 21).

No final da década de 90, a Arquiteta Paisagista Livia Tirone, pioneira da construção sustentável na Europa, projetou o jardim de cobertura da Torre Verde, no Parque das Nações, em Lisboa (Pearson, 2016). Sem grandes preocupações estéticas, este espaço verde apresenta uma ética de sustentabilidade, no sentido de melhorar a eficiência energética do edifício (Costa, 2010, p. 22).



Figura 11 – Jardim das Oliveiras, sobre o parque de estacionamento do Centro Cultural de Belém (Four Seasons Hotels Limited , 2016).

Em 2006 foi inaugurada a cobertura ajardinada da Sede do Banco Mais, em Lisboa, da autoria do Arquiteto Paisagista Gonçalo Byrne (Figura 12). Este é um dos exemplos de cobertura ajardinada aplicada em edifícios de serviços ou de habitação como elemento de construção sustentável e, portanto, de responsabilidade ética, aumentando o conforto ambiental do edifício e permitindo a diminuição do consumo energético (Costa, 2010, p. 22).



Figura 12 – Cobertura ajardinada da Sede do Banco Mais, em Lisboa (Arquitectos, 2016).

Em 2007 surgiram as coberturas ajardinadas das *Natura Towers*, em Telheiras, Lisboa, da autoria dos Arquitetos Gonçalo Rangel de Lima, Jorge Matos Alves e Pedro Neto Ferreira, associados à Gjp Arquitectos Associados, Lda. Este edifício vencedor do prémio Melhor Novo Edifício Europeu do Ano, atribuído pela Comissão Europeia nos *Annual GreenBuildingAwards* de 2011, apropria-se da matéria vegetal para enaltecimento da arquitetura. Conjuga de forma pioneira a tecnologia, a inovação arquitetónica e as soluções ambientais que visam torná-lo sustentável. Para o alcance deste objetivo as coberturas do edifício permitem proceder à recolha das águas pluviais, de modo a que posteriormente sejam utilizadas na rega da vegetação (Arruda, 2012).

Da autoria dos Arquitetos Aires Mateus, João Nunes e Frederico Valsassina, associados à *Proap - Estudos E Projetos De Arquitetura Paisagista, Lda.*, é inaugurada em 2011 a cobertura

ajardinada da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Alcântara, Lisboa, (Figura 13). Este projeto permitiu a recuperação paisagística da área, baseada na reconfiguração territorial da morfologia do Vale de Alcântara, com o intuito de complementar o espaço de encosta com o espaço de cobertura, diminuindo assim o impacto visual negativo causado pelo edifício. Para além do intuito de recuperação das continuidades perdidas dos sistemas visuais, aplicaram-se também esforços no sentido de mitigar as descontinuidades ecológicas provocadas (PROAP - Estudos e Projectos de Arquitectura Paisagista, Lda , 2013).



Figura 13 – Cobertura ajardinada da ETAR de Alcântara, Lisboa (PROAP - Estudos e Projectos de Arquitectura Paisagista, Lda , 2013).

Em 2013, o Arquitecto Pedro Balonas, com o promotor UrbaClérigos criaram a cobertura ajardinada das galerias comerciais da Praça de Lisboa, no Porto. Sobre a laje de cobertura de um parque de estacionamento (piso 0) foi instalada uma cobertura ajardinada, com 4500 m². Aquando da construção da cobertura houve necessidade de reforço dos elementos estruturais, devido ao aumento considerável dos níveis de tensão. O acesso à zona ajardinada da cobertura é garantido em zonas em que as cotas da cobertura se aproximam das cotas dos pavimentos exteriores (Spotfokus, 2013).

No âmbito da investigação, em 2013 foi instalada na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa uma cobertura ajardinada de 150 m² (Figura 14). Este projeto teve o envolvimento do Centro de Biologia Ambiental (CBA) da Faculdade de Ciências, e o apoio da *Galp*, da *Neoturf* espaços verdes e da *ZinCo* (The Environmental Stress & Functional Ecology, 2014). Para além de promover a sustentabilidade e a qualidade estética do edifício, este projeto permitiu o desenvolvimento de uma vertente académica, através da experimentação de novos substratos e plantas e de monitorizar a relação entre substrato e eficiência térmica no interior do edifício, entre outros (Neoturf, 2013).

Também para investigação científica, em 2016, no Instituto Superior de Agronomia, no âmbito do projeto *NativeScapeGR*, com as Professoras Maria Teresa do Paço e Maria Dalila Espirito Santo e a Arquitecta Paisagista Adriana Anico, foi instalada uma cobertura ajardinada para o estudo de espécies vasculares autóctones portuguesas – *Lavandula stoechas* L. subsp. *luisieri*, *Rosmarinus officinalis* L. e *Brachypodium phoenicoides* L. – e de briófitos autóctones – *Neckera* sp., *Homalothecium* sp., *Brachythecium plumosum* e *Pleurochaete squarrosa* – realizado em diferentes estratos e com diferentes dotações de rega (Anico, 2016).

Capítulo II – Coberturas Ajardinadas: Tipologias e Vantagens

1. Coberturas Ajardinadas: o que São?

Após o enquadramento histórico realizado no Capítulo I do presente documento, é importante, neste capítulo, a definição do que é efetivamente uma cobertura ajardinada. O termo *Roof garden*, em português “cobertura ajardinada”, foi pela primeira vez utilizado por volta de 1893, para descrever os jardins no topo dos Teatros e de outros espaços de lazer e entretenimento existentes nos Estados Unidos da América (Osmundson, 1999, p. 122). Como antes referido, atualmente, define-se cobertura ajardinada como todo o espaço de uma cobertura, plantado com a intenção de proporcionar prazer humano e/ou melhoria ambiental, que está separado do solo por um edifício ou outra estrutura (Osmundson, 1999, p. 13).

As coberturas dos edifícios podem ser ajardinadas de forma simples ou mais elaborada, com comunidades botânicas mais ou menos complexas, dependendo apenas da generosidade do perfil de solo que as plantas possam explorar (Palha, 2011, p. 26). Deste modo a expansão de coberturas ajardinadas é possível, não só em edifícios a construir, que devem desenvolver o planeamento da cobertura ajardinada em sede de projeto, como também em edifícios já construídos, que nunca tenham contemplado esta possibilidade (Palha, 2011, p. 26).

Obviamente a sua instalação é sempre mais fácil em edifícios construídos de raiz, pois, no início do projeto, têm-se em conta as condicionantes de uma cobertura ajardinada, enquanto no outro caso, a cobertura ajardinada é implementada de acordo com as condicionantes já existentes nos edifícios (Castelo-Branco, 2012, p. 6).

2. Tipologias de Coberturas Ajardinadas

Relativamente à sua tipologia as coberturas ajardinadas podem ser classificadas em extensivas, semi-intensivas ou intensivas (Figura 14), dependendo da profundidade do substrato, assim como da acessibilidade ao público e das necessidades de rega e manutenção. Na Tabela 1 estão descritas as principais características destas diferentes coberturas.

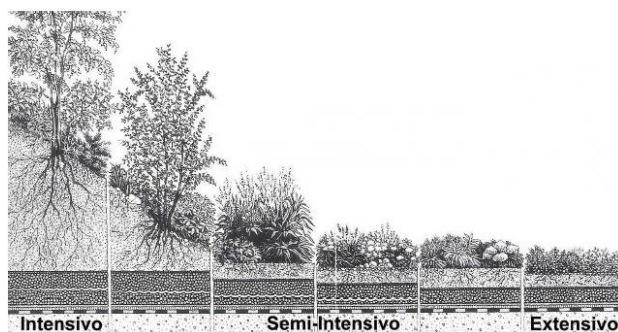


Figura 14 – Diferentes tipologias de coberturas ajardinadas (Osmundson, 1999).

Tabela 1 – Principais características das diferentes tipologias de coberturas ajardinadas (Palha, 2011).

	Extensivas	Semi-intensivas	Intensivas
Uso	Ecológico	Ecológico/Jardim	Jardim/Parque
Vegetação	Várias espécies do género <i>Sedum</i> , herbáceas e alguns tipos de gramíneas	Herbáceas, gramíneas e pequenos arbustos	Relvado, arbustos e árvores
Profundidade do Substrato Técnico	0,06 – 0,2 m	0,12 – 0,25 m	0,18 – 0,5 m
Capacidade de carga Saturada	80 – 150 kg.m ⁻²	120 – 200 kg.m ⁻²	180 – 500 kg.m ⁻²
Manutenção	Inexistente/Baixa	Periódica	Elevada

2.1. Coberturas Ajardinadas Extensivas

As coberturas extensivas são leves (capacidade de carga saturada de 80 – 150 kg.m⁻²) e possuem um substrato técnico pouco profundo (0,06 – 0,2 m), reduzindo assim de forma considerável o acréscimo de carga que este tipo de cobertura implica no edifício (Palha, 2011, p. 27). É possível observar um exemplo desta tipologia de cobertura ajardinada na Figura 15.



Figura 15 – Exemplo de cobertura ajardinada extensiva (ZinCo, 2016d).

As plantas da espécie *Sedum*, uma variedade de suculentas, tornaram-se o tipo de vegetação mais comum em coberturas extensivas, uma vez que preenchem os seguintes requisitos:

- Resistência a temperaturas elevadas;
- Resistência à seca, pois armazenam água de modo eficaz, apenas transpirando no período noturno, quando a perda de água é mínima;
- Massa reduzida;
- Desenvolvimento eficaz em solos pouco profundos;
- Raízes pouco penetrantes e que se expandem horizontalmente (Earth Pledge, 2005, p. 136).

Após o estabelecimento da vegetação, a manutenção poderá ser inexistente ou limitar-se a uma ou duas inspeções por ano, pois o fornecimento de água e nutrientes é efetuado principalmente através de processos naturais (ZinCo, 2016a). Caso se realize algum tipo de

manutenção as suas operações são executadas por toda a área, tratando a vegetação em massa (Palha, 2011, p. 27). Uma vez que a instalação e manutenção deste tipo de coberturas são relativamente simples e reduzidas, consequentemente, os custos associados também são baixos.

As coberturas ajardinadas extensivas não são construídas para uso humano regular (Palha, 2011, p. 27). Apesar da desvantagem do público não poder disfrutar destas coberturas, este fator de inacessibilidade permite maximizar o potencial ecológico da cobertura, uma vez que a mesma pode servir de *habitat* para inúmeras espécies de flora e fauna autóctones.

2.2. Coberturas Ajardinadas Intensivas

As coberturas intensivas possuem um substrato técnico com uma profundidade de 0,18 – 0,5 m e uma carga máxima de saturação de 180 – 500 kg.m⁻²). Idealmente, estas são aplicadas sobre superfícies relativamente planas de telhado (1 – 1,5 %) ou com uma leve inclinação (até 3 %) (Greenroofs, 2016b). É possível observar-se um exemplo deste tipo de cobertura na Figura 16.

Relativamente à vegetação, os diferentes tipos de substratos técnicos e as variadas profundidades dos mesmos permitem uma maior seleção de plantas (Greenroofs, 2016b) e, por consequência, uma maior variabilidade estética. Assim, as coberturas intensivas mais simples são caracterizadas por relvados e plantas de cobertura de solo. Por sua vez, as coberturas intensivas mais complexas poderão incluir arbustos e árvores (Palha, 2011, p. 27). Para além da vegetação, esta tipologia de coberturas poderá integrar ainda lagos, fontes de água, passadiços, pérgulas, pátios, entre outros, consoante o *design* projetado.

Geralmente, a vegetação utilizada neste tipo de coberturas desidrata com maior facilidade do que a utilizada nas coberturas ajardinadas extensivas, pois não apresenta a mesma resistência a fatores ambientais adversos (Castelo-Branco, 2012, p. 9).

Em comparação às coberturas ajardinadas extensivas, estas suportam uma capacidade de carga superior e uma configuração do sistema mais profunda, com elevada capacidade de retenção de água. Por consequente irão requerer uma necessidade de manutenção regular, que inclui:

- Fertilização;
- Irrigação;
- Corte de relva, podas e mondas (ZinCo, 2016b).

Deve ainda acrescentar-se que as ações de manutenção são aplicadas às plantas de forma individual consoante as suas necessidades (Palha, 2011, p. 27). A manutenção frequente, aliada à quantidade e tipo de materiais utilizados, aumentará o custo final de implementação deste tipo de coberturas (Castelo-Branco, 2012, p. 9).

Estas coberturas são preparadas para terem acesso e utilização, proporcionando bem-estar e conforto aos seus visitantes, normalmente são também executadas para se poderem observar do interior do edifício (Palha, 2011, p. 27). Porém esta acessibilidade ao público minimiza o potencial ecológico da cobertura.



Figura 16 – Exemplo de cobertura ajardinada intensiva (ZinCo, 2016e).

2.3. Coberturas Ajardinadas Semi-intensivas

A profundidade do substrato técnico das coberturas ajardinadas semi-intensivas varia entre 0,12 m e 0,25 m e a capacidade de carga saturada é de 120-200 kg.m⁻² (Palha, 2011, p. 27). Obviamente as cargas sobre a laje variam em função da profundidade do substrato técnico e do tipo de vegetação utilizada, devendo estas variações ser consideradas aquando do cálculo da carga máxima admitida na cobertura (ZinCo, 2016c).

Uma cobertura ajardinada semi-intensiva é composta por herbáceas, gramíneas, e pequenos arbustos. Ao contrário das coberturas extensivas em que a vegetação segue o seu processo natural de crescimento, a cobertura ajardinada semi-intensiva permite uma plantação de acordo com as intenções do projetista e do cliente (ZinCo, 2016c).

A manutenção exigida é periódica, porém menor do que no caso das coberturas intensivas e deverá garantir a correta evolução da vegetação e um desempenho eficiente dos sistemas de drenagem e rega. Nestes casos recomenda-se a instalação de um sistema de rega gota-a-gota, para garantir os níveis de humidade no solo necessários para o melhor desenvolvimento das plantas (ZinCo, 2016c). Quanto aos custos de instalação e manutenção, estes têm um valor intermédio dos aplicáveis às coberturas extensivas e intensivas (Castelo-Branco, 2012, p. 9).

Nesta tipologia de coberturas ajardinadas híbridas a filosofia do mínimo *input* ecológico é respeitada, tal como nas coberturas ajardinadas extensivas. Porém as coberturas semi-

intensivas são visitáveis. Este conceito tenta demonstrar que não há razão alguma para que as coberturas ditas ecológicas não sejam acessíveis ao Homem, permitindo uma fusão dos benefícios ecológicos com os benefícios para o bem-estar humano (Palha, 2011, p. 28).

2.4. Comparação entre as Coberturas Ajardinadas Intensivas e as Coberturas Ajardinadas Extensivas

Consoante o fim pretendido, o local de aplicação e os custos que se pretendem suportar, poderá ser adequada a implementação de determinada tipologia de cobertura ajardinada. A ponderação das várias vantagens e desvantagens que cada tipologia proporciona é de extrema importância e deve ser tida em conta aquando da realização do projeto da cobertura ajardinada. Na Tabela 2 é possível efetuar, de modo simplificado, esta comparação. Não deve ser esquecido que as coberturas semi-intensivas são coberturas híbridas, representando uma combinação dos elementos das coberturas ajardinadas intensivas e extensivas, pelo qual as suas vantagens e desvantagens serão também uma combinação das vantagens e desvantagens das coberturas ajardinadas intensivas e extensivas.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens adjacentes às coberturas ajardinadas extensivas e intensivas.

Coberturas Extensivas	Coberturas Intensivas
Aplicáveis em declives mais acentuados (através da utilização de sistemas de apoio)	Não podem ser aplicadas em declives acentuados
Indicadas para implementar em estruturas já existentes (reabilitação de estruturas)	Só podem ser instaladas em estruturas suficientemente fortes
Investimento económico menor	Elevado investimento económico
Camada de substrato técnico pouco profunda (acrescendo uma menor carga à cobertura)	Camada de substrato técnico mais profunda (acrescendo uma maior carga à cobertura)
Há uma menor variedade de vegetação que pode ser utilizada	Possibilita a utilização de uma maior variedade de vegetação e, consequentemente, uma maior diversidade de <i>habitats</i> (maior biodiversidade)
Baixa necessidade de manutenção e irrigação	Elevada necessidade de manutenção e irrigação
Não permitem grande variação estética	Permitem grande variação estética
Inacessíveis ao público	Acessíveis ao público

2.5. Brown Roofs

Para além destas três tipologias existe ainda uma outra classe de coberturas ajardinadas, denominada *Brown Roofs* ou *Biodiverse Roofs*. Os *Brown Roofs* são essencialmente coberturas ajardinadas não semeadas, isto é, coberturas ajardinadas onde o substrato técnico não é plantado/semeado pelo Homem. Esta aproximação permite que se restabeleça naturalmente a ecologia que estava presente antes da construção dos edifícios. Fundamentalmente, um *Brown Roof* visa restabelecer, na cobertura de um edifício, um *habitat* propício para as espécies locais. Estas espécies incluem plantas, insetos e aves (Blackdown Horticultural Consultants Limited, 2006). Um exemplo de *Brown Roof* pode ser observado na Figura 17.



Figura 17 – Exemplo de *Brown Roof* (Culham, 2011).

Geralmente os *Brown Roofs* são instituídos em áreas industriais construídas nos espaços rurais (os designados *Brownfields sites*) como forma de compensação pela urbanização da área. Assim, pode afirmar-se que o objetivo primordial de um *Brown Roof* é impulsionar a biodiversidade, agindo das seguintes formas:

- Maximização do número de espécies que se instalam na cobertura ajardinada;
- Fornecimento de um *habitat* para determinada espécie (Brownroofs, 2016).

Neste tipo de coberturas as condições do solo local devem ser, dentro do possível, “recriadas”, pelo que o substrato técnico utilizado deve conter material mineral associado ao local de construção da cobertura (Blackdown Horticultural Consultants Limited, 2006). Este substrato técnico deve também incluir pelo menos 40% de materiais reciclados sobrantes da construção dos edifícios. O objetivo é reproduzir um *habitat* na cobertura com características biológicas idênticas às que ocorriam no local antes da construção do edifício (Brownroofs, 2016).

Este tipo de cobertura é muito flexível nos projetos e pode ser adaptado para atender as exigências dos clientes e arquitetos, bem como para cumprir os objetivos específicos de sustentabilidade. Assim, um projeto mais simples pode apenas consistir na inserção de substrato técnico, produzido através dos constituintes do solo local, no topo da cobertura, enquanto no outro extremo da escala, um projeto mais complexo pode incluir os seguintes elementos destinados a aumentar o potencial de biodiversidade e/ou fornecer um *habitat* para espécies-alvo específicas:

- Lagos;
- Inserção de alguma vegetação autóctone numa primeira fase;
- Zonas húmidas para o estabelecimento de musgos;
- Rochas;
- Recantos e pequenos socacos, de modo a criar diferentes níveis de paisagem (Brownroofs, 2016).

Note-se que as coberturas ajardinadas extensivas, intensivas e semi-intensivas e os *Brown Roofs* não são mutuamente exclusivos – um *Brown Roof* é simplesmente uma cobertura ajardinada com critérios específicos de projeto. As especificações que tornam uma cobertura numa cobertura ajardinada ou num *Brown Roof* devem resultar em instalações ambientalmente relevantes, naturalistas e com um desempenho dinâmico a longo prazo. Idealmente, estas instalações deverão ser multifacetadas e aspirar a fornecer diversidade em toda a área da cobertura – especialmente no caso de grandes projetos. Esta poderá ser uma batalha com o processo de construção, pois diversidade e complexidade podem ser vistas como um risco e/ou uma despesa. É fulcral que, na fase de especificação, os valores fundamentais da cobertura sejam protegidos (Blackdown Horticultural Consultants Limited, 2006).

Capítulo III – Benefícios das Coberturas Ajardinadas

1. Enquadramento

Após se terem apresentado algumas definições, no Capítulo II, sobre o que é uma cobertura ajardinada e quais as suas tipologias, é importante explicitarem-se os benefícios associados a este tipo de cobertura. É possível fazerem-se as seguintes constatações relativamente aos terraços e coberturas de edifícios da grande maioria das zonas urbanas:

- Apresentam-se mal cuidados;
- A sua transformação acrescentaria valor imobiliário ao edifício onde se encontram;
- Esta transformação traria benefícios para os moradores dos apartamentos circundantes mas, sobretudo, para os ocupantes do próprio edifício, que poderiam desfrutar do jardim (Osmundson, 1999).

As grandes cidades estão quase totalmente cobertas por estradas, edifícios e parques de estacionamento. Assim, idealmente, todos os edifícios modernos, principalmente os das áreas com elevado índice de urbanização, deveriam possuir uma cobertura ajardinada. Estas permitiriam o equilíbrio do sistema urbano, com a expansão da área verde na malha urbana e o consequente impacto positivo nas condições ambientais, na qualidade da paisagem citadina, na qualidade de vida das populações e no desenvolvimento económico (Palha, 2011).

2. Benefícios

As coberturas ajardinadas oferecem benefícios múltiplos de ordem Ambiental, Económica, Social e Estética. Embora estes benefícios sejam discutidos separadamente na informação abaixo apresentada é importante salientar que os mesmos não são mutuamente exclusivos, influenciando-se entre si, razão que dificulta a sua quantificação (Osmundson, 1999) .

É ainda possível categorizar os benefícios das coberturas ajardinadas em:

- Públicos, quando só são efetivos se for considerada a instalação de coberturas ajardinadas em larga escala;
- Privados, quando os benefícios se fazem sentir diretamente no edifício onde é instalada a cobertura ajardinada (Palha, 2011).

2.1. Benefícios Públicos

A grande maioria dos benefícios proporcionados por uma cobertura ajardinada são benefícios públicos. Entre estes destaca-se:

- A melhoria da qualidade do ar;
- O aumento da biodiversidade;
- A manutenção das águas pluviais (quantitativa e qualitativamente);
- A mitigação do efeito de ilha de calor urbana;

- O aumento do bem-estar e da qualidade de vida da população local;
- A valorização estética e o enquadramento paisagístico;
- O desenvolvimento agrícola em zonas urbanas.

2.1.1. Melhoria da Qualidade do Ar

As grandes cidades são os locais onde a poluição atmosférica se faz notar mais, devido à circulação elevada de veículos automóveis e à atividade industrial, que libertam gases poluentes e partículas sólidas para a atmosfera. Mais de 80% das pessoas que vivem em áreas urbanas estão expostas a níveis de qualidade do ar não recomendados pela Organização Mundial da Saúde (World Health Organization, 2016). Com o declínio da qualidade do ar, o risco de acidente vascular cerebral, doenças cardíacas, cancro de pulmão e de doenças respiratórias agudas ou crónicas, aumenta para o Homem (World Health Organization, 2016).

A construção de coberturas ajardinadas nestes locais poderá permitir a melhoria da qualidade do ar, mitigando os danos causados. É bem conhecido que as plantas, através da sua atividade fotossintética, provocam a redução do dióxido de carbono e a libertação oxigénio na atmosfera; para além disto, a vegetação pode filtrar poluentes, como metais pesados e compostos orgânicos voláteis, sendo parte dos mesmos absorvidos pelas folhas.

No caso dos metais pesados, estudos realizados em coberturas ajardinadas, demonstram que a vegetação das mesmas pode reter 95% de cádmio (Cd), cobre (Cu) e chumbo (Pb) e 16% de zinco (Zn) (Neoturf, 2012). As coberturas ajardinadas também contribuem para a redução das poeiras atmosféricas através da sua deposição no substrato técnico (Green Roofs for Healthy Cities, 2016).

De acordo com o estudo “*Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago*”, as coberturas ajardinadas da Cidade de Chicago, nos Estados Unidos da América, permitem a remoção de poluentes atmosféricos num total de $85 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo:

- 52% Ozono (O_3);
- 27% Dióxido de Azoto (NO_2);
- 14% Partículas de diâmetro inferior a $10 \mu\text{m}$ (PM_{10});
- 7% Dióxido de enxofre (SO_2).

Porém, este efeito só é significativo à escala urbana, se um número elevado de coberturas for revestido por vegetação. Sabe-se que a quantidade de poluentes removidos aumentaria para $2046,89 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ se todas as coberturas em Chicago fossem ajardinadas intensivas (Yang, *et al.*, 2008).

Existe ainda outro fator que deve ser considerado. O atual processo de produção dos polímeros constituintes dos substratos técnicos em uso é bastante poluente, sendo necessários 25 anos para que as coberturas ajardinadas efetivamente compensem as substâncias

poluentes libertadas, aquando da sua produção. É necessária uma reavaliação da produção deste tipo de substrato (Hands Schuh, 2011).

2.1.2. Aumento da Biodiversidade

A preservação da biodiversidade é bastante crítica em zonas desenvolvidas, pois a fragmentação dos *habitats* e a poluição presente nas cidades modernas é hostil para a maioria da fauna e flora (Earth Pledge, 2005, p. 19). As coberturas ajardinadas poderão impulsionar a biodiversidade e proporcionar a ligação entre a cidade e o espaço rural, através da criação de *habitats* funcionais na paisagem urbana, que se ligam por via aérea, para aves, insetos e sementes disseminadas pelo vento (Earth Pledge, 2005, p. 19).

Muitos dos projetos de coberturas ajardinadas incluem espécies de plantas autóctones e, por vezes, replicam ecossistemas locais (Earth Pledge, 2005, p. 19). Por exemplo, o *Chicago City Hall*, em Illinois, nos Estados Unidos da América, é uma cobertura ajardinada utilizada para testar a sobrevivência de mais de 150 espécies autóctones e não-autóctones numa variedade de profundidades de substrato técnico e de condições de drenagem (Earth Pledge, 2005, p. 19 e 58) e o *The Sechelt Justice Services Center*, em Sechelt, na Colúmbia Britânica replica o ecossistema local, de modo a mitigar a perda do mesmo devido ao desenvolvimento urbano (Earth Pledge, 2005, p. 19 e 36).

Os substratos técnicos utilizados na construção das coberturas ajardinadas têm reduzida fertilidade, uma vez que o fator preponderante é a percentagem de inertes que garantam a drenagem. Esta reduzida fertilidade provoca o aumento do número de espécies, pois não existem condições suficientes para a proliferação das espécies altamente dominantes, ou seja, provoca o aumento da biodiversidade em flora no mesmo *habitat*, que, consequentemente se traduz num aumento da fauna, principalmente em termos de aves e insetos (Palha, 2011).

Obviamente, no caso destas coberturas ajardinadas serem extensivas e, portanto, inacessíveis ao ser-humano, os impactos positivos na biodiversidade aumentam (Palha, 2011). Por sua vez, quando se trata de um *Brown Roof* as espécies utilizadas não só são autóctones, como são providas do próprio local onde se está a construir o *Brown Roof*, permitindo assim a preservação de ecossistemas que já prosperavam no local. Como exemplo do mesmo tem-se o *Orchid Meadow*, em Zurique, na Suíça, onde ocorrem mais de 170 espécies de flora, incluindo nove orquídeas que são agora consideradas raras ou em perigo de extinção, refletindo a riqueza em espécies que existia nesta região aquando do início do século XX. (Earth Pledge, 2005, p. 19 e 102).

Contudo, se é pretendido que as coberturas ajardinadas evoluam como componente ecológica, estas deverão existir em área urbana suficiente, de modo a provocarem impacte positivo no microclima e na eficiência energética, entre outros. Deste modo, e construindo coberturas ajardinadas com diversas dimensões, funções e *designs*, será possível a criação de um

mosaico de espaços verdes inter-relacionados, com diferentes padrões ecológicos, cujos benefícios poderiam ser grandemente multiplicados ao ponto de causarem transformações de larga escala na ecologia urbana (Earth Pledge, 2005, p. 107).

2.1.3. Manutenção das Águas Pluviais

A elevada percentagem de superfície impermeabilizada nas cidades tem como consequência que 75% da precipitação ocorrida nestes locais não se infiltre e seja diretamente conduzida para os coletores de águas pluviais, aumentando o escoamento superficial e, conseqüentemente, o risco de inundação. Denote-se que, por exemplo em área florestal, apenas 5% da água da precipitação é perdida superficialmente (Palha, 2011).

O impacto deste elevado escoamento superficial e, da conseqüente colheita das águas nas condutas, pode ser ainda aumentado, por exemplo no caso das cidades mais antigas como Nova Iorque, nos Estados Unidos da América, onde as condutas de recolha dos esgotos privados e industriais e da água de escoamento estão unidas num só canal. Assim, se o volume suportado pelas condutas for ultrapassado durante períodos de elevada precipitação, as águas residuais não tratadas emergirão, causando um fenómeno designado *Combined Sewage Overflow* (CSO). As descargas CSO contêm agentes patogénicos, toxinas e agentes poluentes, perigosos para a saúde humana e que poderão contaminar os rios e o mar (Earth Pledge, 2005).

Mesmo quando as condutas dos esgotos estão em diferentes canais, a subida do nível do canal das águas pluviais, com as conseqüentes cheias, ou o seu simples desaguamento sem tratamento nos rios e no mar, é causa direta da má qualidade dessas águas (Palha, 2011).

As coberturas ajardinadas podem dar um grande contributo para a gestão das águas pluviais nas cidades, pois têm a capacidade de reter água no seu substrato, que será lentamente libertada ou utilizada pela vegetação e posteriormente evaporada para a atmosfera, entrando novamente no ciclo hidrológico (Palha, 2011). Assim, podem ser uma solução interessante para a problemática acima referida.

Estudos realizados pelo *Penn State Green Roof Research Center, Portland's Bureau of Environmental Services* e pela *North Carolina State University* demonstram que uma cobertura ajardinada intensiva é capaz de reter de 50% a 70% da precipitação anual. Estes estudos demonstraram ainda que as coberturas ajardinadas permitem, para além de reduzir, atrasar o pico de escoamento das águas pluviais de 30 minutos para 4 horas e 30 minutos (Earth Pledge, 2005).

Estas coberturas oferecem ainda outras vantagens a nível da gestão das águas pluviais pois, para além de reduzirem o volume de água escoada superficialmente, também contribuem para a melhoria de qualidade da mesma, através da retenção de alguns poluentes no seu substrato

(Palha, 2011). Porém, no caso de se adicionarem fertilizantes ao substrato técnico, nomeadamente no caso de prática agrícola em coberturas ajardinadas, será necessário um extremo cuidado com as quantidades aplicadas, de modo a não aumentar a poluição das águas em questão.

Obviamente, a capacidade de retenção de água nas coberturas ajardinadas varia e depende dos seguintes fatores:

- Profundidade e composição do substrato, sendo que coberturas com maior espessura de substrato, permitem uma maior redução do escoamento superficial;
- Espécies de plantas e sua densidade;
- Declive da cobertura;
- Frequência e intensidade dos fenómenos de precipitação, sendo que para períodos de precipitação duradoura e/ou intensa o desempenho da cobertura ajardinada é reduzido devido à sua saturação;
- Presença de elementos com capacidade de retenção de água, incorporados no projeto (Pinto C., 2014), nomeadamente cisternas ou reservatórios subterrâneos que poderão permitir a eliminação completa do escoamento superficial e o reaproveitamento das águas, por exemplo para rega (Costa, 2010).

2.1.4. Mitigação do Efeito da Ilha de Calor Urbana

O efeito da Ilha de Calor Urbana é o fenómeno que explica as altas temperaturas sentidas nas zonas urbanas em comparação com as áreas adjacentes suburbanas e rurais. Com o contínuo aumento do aquecimento global e da urbanização, este efeito também aumenta, de tal modo que, atualmente, as grandes cidades têm sofrido um aumento de temperatura mais rápido do que o planeta Terra no seu todo (Earth Pledge, 2005).

Estas temperaturas elevadas são provocadas, essencialmente, devido à alta absorção da radiação solar durante o dia pelas superfícies escuras e impermeáveis das cidades, construídas com materiais como o asfalto e o betão, e à sua dissipação para a atmosfera durante a noite (Earth Pledge, 2005). Este efeito é ainda intensificado pela ação antrópica, por exemplo através do tráfego e das atividades industriais.

As coberturas dos edifícios apresentam diferentes albedos (Tabela 3) que influenciam a sua temperatura. Uma cobertura tradicional tem normalmente um albedo de cerca de 0,08, enquanto uma cobertura ajardinada permitirá atingir os 0,25 (Earth Pledge, 2005). Por exemplo, a cobertura ajardinada do *125 Maiden Lane*, em Nova Iorque, nos Estados Unidos da América, combina superfícies de baixo albedo, criando um espaço refrescante e relaxante especialmente para dias de verão.

Tabela 3 – Albedo dos diferentes tipos de superfície utilizados nas coberturas dos edifícios (Costa, 2010).

Tipo de Superfície	Albedo
Relva	0,25 – 0,30
Árvores	0,15 – 0,18
Água	1
Cascalho	0,8 – 0,18
Asfalto	0,05 – 0,20
Alcatrão e Gravelha	0,08 – 0,18
Tijolo - Pedra	0,20 – 0,50
Concreto	0,10 – 0,35
Cerâmica	0,10 – 0,35
Pintura branca	0,50 – 0,90
Pintura preta	0,02 – 0,15

Para além das coberturas ajardinadas serem mais refletivas que as coberturas tradicionais, estas permitem ainda a diminuição do calor do ar através da evapotranspiração efetuada pela sua vegetação (Earth Pledge, 2005).

De todos os benefícios das coberturas ajardinadas este será, provavelmente, o mais difícil de quantificar. Porém, um estudo efetuado na Baixa de Toronto, no Canadá, demonstra que se 50% dos edifícios desta cidade possuísem coberturas ajardinadas, a redução na temperatura seria de 0,5 °C. Por sua vez, quantificando também a evapotranspiração efetiva das plantas, a redução de temperatura passa para os 2 °C e influencia uma área maior da cidade (Palha, 2011).

2.1.5. Aumento do Bem-estar e da Qualidade de Vida

Mais de 50% da população mundial vive em área urbana. Estima-se que, em 2050, 70% da população mundial habite nestes locais. O Dr. Jacob Kumaresan, diretor do Centro de Organização Mundial da Saúde para o Desenvolvimento da Saúde, com sede em Kobe, no Japão, afirma que "apesar da vida urbana oferecer muitas oportunidades, incluindo a possibilidade de acesso a melhores cuidados de saúde, os atuais ambientes urbanos apresentam diversos riscos para a saúde". A poluição urbana do ar é responsável pela morte de 1,2 milhões de pessoas por ano, principalmente devido a doenças cardiovasculares e respiratórias. Para além disto, os ambientes urbanos tendem a desencorajar a prática de atividade física e o convívio social ao ar livre, devido à superlotação, ao tráfego, à má qualidade do ar e à falta de espaços públicos seguros para a prática dos mesmos, o que diminui a qualidade de vida da população (World Health Organization, 2010).

Assim, as coberturas ajardinadas surgem como uma solução de planeamento urbano, aumentando a área verde por habitante e promovendo espaços aprazíveis, que contribuem para a melhoria da saúde da população através de:

- Redução do *stress* e aumento da sensação de conforto, por sentimento de isolamento da confusão urbana. Salienta-se que, mesmo as coberturas inacessíveis ao público trazem benefícios a este nível, por exemplo por serem agradáveis de se observar através dos edifícios vizinhos (Palha, 2011);
- Diminuição de doenças respiratórias, por melhoria da qualidade do ar;
- Incentivo ao convívio e à prática de atividade física – note-se que cada vez existem coberturas ajardinadas de maiores dimensões, que já possuem campos de jogos e, em algumas delas, decorrem atividades como churrascos, caminhadas e passeios com cães (Varela, 2011).

Para além disto, as coberturas ajardinadas podem apresentar vantagens relativamente aos espaços verdes convencionais, por exemplo por poderem ter acesso restrito, o que confere ao espaço segurança e privacidade, evitando a criminalidade e o vandalismo (Palha, 2011).

Existe ainda uma vantagem indireta sobre o melhoramento da qualidade de vida da população com a implementação de mais coberturas ajardinadas nas cidades: a criação de postos de trabalho em diversas áreas, nomeadamente na elaboração dos projetos, no fornecimento de materiais e mão-de-obra para a sua construção, na sua manutenção e fiscalização e ainda na investigação de novos materiais, técnicas e benefícios que as coberturas ajardinadas possam oferecer (Costa, 2010).

2.1.6. Valorização Estética e Enquadramento Paisagístico

Nas grandes cidades, como Nova Iorque, nos Estados Unidos da América, mais de 70% da área é ocupada por estradas, edifícios e parques de estacionamento (Earth Pledge, 2005). Esta massificação das estruturas construídas em meio urbano cria, obviamente, um impacto visual negativo, desvalorizando esteticamente o local. Se grande parte das coberturas dos edifícios, que são visíveis de uns prédios para os outros, fossem ajardinadas, ocorreria uma profundada alteração da paisagem (Palha, 2011).

Para além disto, atualmente, os Planos Diretores Municipais das grandes cidades apresentam uma preocupação com a adequação ambiental e o uso racional do solo, pretendendo que se aja no sentido de aumentar as áreas verdes em contexto urbano. Deste modo, as coberturas ajardinadas poderão ser uma eficaz resposta a estas exigências, sendo que as coberturas de maiores dimensões são de grande importância, pois permitem a implantação de zonas verdes representativas e com elevados níveis de riqueza biológica (Costa, 2010), causando um aumento significativo da área verde por habitante.

Na Figura 18, que corresponde a uma imagem virtual dos edifícios da cidade de Nova Iorque, nos Estados Unidos da América, é possível observar-se o impacto visual positivo que esta mesma cidade sofreria caso os seus edifícios possuíssem coberturas ajardinadas.



Figura 18 – Imagem Virtual de Nova Iorque com os seus edifícios com coberturas ajardinadas (Green Education Center, 2016).

Um exemplo real, onde é possível observar o impacto visual da construção de coberturas ajardinadas é o caso de Lúcia, na Áustria, onde o impacto da industrialização intensa dos anos 60 e 70 deixou a cidade com pouca área verde. Para resolver esta situação, em 1984, iniciou-se uma política que exigia a inclusão de uma cobertura ajardinada no topo dos novos edifícios comerciais, industriais e dos parques de estacionamento. Existe um enorme contraste entre os edifícios construídos antes de 1985 e os construídos após esta data – na Figura 19 é possível observar o mesmo e confirmar a importância que as coberturas ajardinadas têm no que diz respeito à valorização estética de um local (Booyesen, 2014).



Figura 14 – Impacte visual da construção de coberturas ajardinadas em Lúcia, na Áustria (Booyesen, 2014).

2.1.7. Desenvolvimento Agrícola em Zonas Urbanas

Agricultura urbana é um conceito em crescimento, que pode vir a contribuir para o desenvolvimento económico e a criação de emprego. Porém, está limitada pela competição por espaço para outras formas de desenvolvimento urbano e pelo risco para a saúde por contaminação dos alimentos (Whittinghill & Rowe, 2012). O uso de coberturas ajardinadas na agricultura urbana poderá resolver alguns destes problemas, disponibilizando espaço para a prática agrícola nas zonas urbanizadas.

Para além deste aspeto, as práticas agrícolas em coberturas ajardinadas permitirão aos moradores das urbanizações tornarem-se mais autossuficientes, reduzindo a distância entre consumidores e produtores e mitigando o impacto ambiental associado ao custo energético e à poluição provocados pelo transporte, por vezes em longas distâncias, dos alimentos.

O estudo *Evaluation of vegetable production on extensive green roofs* foi realizado para explorar o potencial de produção agrícola em profundidades de substrato relativamente delgadas (10 cm), para se diminuir a carga aplicada nas coberturas ajardinadas. Entre 2009 e 2010 foram produzidos Cebolinho (*Allium schoenoprasum*), Feijão (*Phaseolus vulgaris*), Manjericão (*Ocimum basilicum*), Pepino (*Cucumis sativus*), Pimento (*Capsicum annuum*) e Tomate (*Solanum lycopersicum*), demonstrando em todos os casos, exceto relativamente a *Capsicum annuum*, que a produção de alimentos em coberturas ajardinadas é possível e produtiva (Whittinghill, *et al.*, 2013).

Um dos melhores exemplos de produção de alimentos em coberturas ajardinadas é o Hotel *Fairmont Waterfront*, em Vancouver, no Canadá (Figura 20). Esta cobertura ajardinada de 195 m² de área e com um substrato técnico de 45 cm de profundidade fornece todas as ervas aromáticas necessárias para a cozinha do hotel, permitindo a poupança de 17352 a 20822 €.ano⁻¹. Ao mesmo tempo fornece um espaço exterior agradável para os hóspedes, permitindo aumentar as tarifas dos quartos situados na sua envolvente (Palha, 2011).



Figura 15 – Jardim de cobertura do Hotel *Fairmont Waterfront*, em Vancouver, no Canadá (Michigan State University, 2016a).

Outro exemplo é a cobertura ajardinada para produção agrícola *EcoHouse*, em *Petersburgo*, na *Rússia* (Figura 21), que responde às dificuldades sociais, económicas e ambientais da localidade, permitindo a produção de alimentos, a criação de postos de trabalho e o desenvolvimento do sentido de comunidade, interagida e sustentabilidade.



Figura 16 – Cobertura ajardinada *EcoHouse*, em *Petersburgo*, na *Rússia* (Earth Pledge, 2005).

Outros dados que provam as vantagens desta solução advêm de uma simulação feita em Toronto, que prevê a produção de hortícolas na ordem dos 4,7 milhões kg.ano⁻¹, se 6% da área local for ocupada por coberturas ajardinadas, com uma espessura de 15 cm. Isto possibilitaria ainda a criação direta e indireta de emprego (Varela, 2011).

Porém, antes das coberturas ajardinadas poderem servir em grande escala a agricultura urbana, será necessária a redução dos custos de instalação e devem ser avaliadas as limitações de peso e as práticas de gestão adequadas (Michigan State University, 2016a). Por exemplo, neste caso é de extrema importância existir uma irrigação adequada da cobertura ajardinada, com água de qualidade, para que a produção seja efetiva e não haja contaminação dos alimentos. Além disto é necessária uma preocupação com a fertilidade do substrato, bem como com o seu grau de humidade; uma investigação profunda sobre os tipos de *mulch* adequados a estas situações e sobre os seus efeitos no microclima da cobertura ajardinada, bem como uma pesquisa sobre os vários tipos de fertilizantes, com diferentes composições, que poderiam ajudar no desenvolvimento de uma prática de gestão de nutrientes eficiente e produtiva (Michigan State University, 2016a).

2.2. Benefícios Privados

Os benefícios privados oferecidos pelas coberturas ajardinadas são os seguintes:

- Melhoria da eficiência energética;
- Aumento da durabilidade da membrana impermeável;
- Diminuição do risco de incêndio;
- Diminuição da poluição sonora.

2.2.1. Melhoria da Eficiência Energética

As coberturas ajardinadas permitem a redução do consumo energético do edifício onde se encontram, pois possibilitam um menor gasto de energia em aclimatização, devido a conferirem uma melhoria do conforto térmico a esse mesmo edifício.

No verão, a vegetação de uma cobertura ajardinada protege o edifício da radiação solar e, através do fenómeno de evapotranspiração, diminui em 90% a ação térmica dos raios solares incidentes (Palha, 2011). Isto provoca um arrefecimento global da área da cobertura, que se reflete no interior do edifício, numa diminuição de 3-4 °C, quando a temperatura exterior se situa entre os 25 e os 30 °C (Peck, *et al.*, 1999).

Palha afirma que “cada redução de 0,5 °C na temperatura interior do edifício reduzirá o consumo de energia (destinada a aparelhos de ar condicionado) em mais de 8%” (Palha, 2011), assim, em locais onde o recurso a aparelhos de ar condicionado é frequente, a construção de uma cobertura ajardinada permitirá a redução dos custos em energia para arrefecimento.

Existem alguns exemplos e estudos que constataam o acima referido. Por exemplo, a *Environment Canada*, em Toronto, no Canadá, após a instalação de uma cobertura ajardinada com 10 cm de profundidade, obteve uma redução de 25% do consumo de energia em ar condicionado (Palha, 2011). Outro exemplo é o estudo realizado em cinco edifícios comerciais com coberturas ajardinadas em Singapura, onde se constatou uma redução anual de até 15% no consumo energético (Wong, 2003).

Porém, não é só no verão e em climas quentes que as coberturas ajardinadas são úteis do ponto de vista energético, pois o isolamento térmico obtido também mitiga as perdas de calor, o que permite uma diminuição da energia necessária ao aquecimento do edifício durante o inverno (Palha, 2011).

É necessário referir que o desempenho térmico das coberturas ajardinadas é condicionado por diversos fatores, como:

- Clima local;
- Características específicas do projeto e da construção;

- Profundidade, composição e nível de humidade do substrato técnico, que definem o seu valor de condutibilidade térmica e a correspondente transferência de calor para o edifício (Coelho, 2014);
- Altura e densidade da vegetação, que definem o nível de sombreamento/transferência de radiação. Acrescenta-se que, para que não ocorram perdas de calor durante o inverno, deverão ser utilizadas plantas perenes (Costa, 2010).

Para além disto, as coberturas ajardinadas também provocam um aumento da eficiência dos painéis fotovoltaicos e solares térmicos que nelas se encontram, pois a eficiência destes painéis depende da temperatura, sendo que quando a temperatura aumenta 1 °C a eficiência sofre uma redução de aproximadamente 0,4-0,5%. Uma cobertura verde irá amenizar a temperatura em torno do painel, fazendo com que a mesma não ultrapasse os 30-35 °C, mesmo num dia quente de verão (ZinCo, 2015). Um estudo realizado em Berlim, na Alemanha, demonstra que numa cobertura ajardinada os painéis fotovoltaicos geram mais 6% de energia, em comparação com a energia gerada por painéis fotovoltaicos montados numa cobertura convencional revestida com membrana betuminosa (Dunnett & Kingsbury, *Planting Green Roofs and Living Walls*, 2008). Simultaneamente, a cobertura ajardinada também pode ser favorecida pela presença dos referidos painéis, pois a vegetação que se encontra sob os mesmos, recebe sombra, oferecendo melhores condições para o crescimento da flora, o que a torna mais diversificada (Dunnett & Kingsbury, *Planting Green Roofs and Living Walls*, 2008).

2.2.2. Aumento da Durabilidade da Membrana Impermeável

As propriedades protetoras das coberturas ajardinadas têm sido bastante importantes para o prolongamento do tempo de vida das membranas impermeáveis utilizadas na construção dos edifícios, pois a vegetação e o substrato técnico:

- Resguardam-nas dos raios solares;
- Protegem-nas contra os danos mecânicos, como a ação do vento e do granizo e o vandalismo;
- Diminuem a temperatura das mesmas. Este facto foi comprovado num estudo efetuado em Toronto, no Canadá, onde se compararam duas coberturas: uma ajardinada e outra não ajardinada. Concluindo-se que, com uma temperatura ambiente que apenas ultrapassou os 30 °C em 10% dos dias, a membrana exposta superou esse valor em mais de metade do período de observação, ultrapassando os 50 °C em 33% dos dias e os 70 °C em dois desses dias. Por sua vez, a membrana impermeável sob a cobertura ajardinada manteve uma temperatura de 25 °C na maior parte do período de observação, ultrapassando os 30 °C em apenas 3% dos dias (Dunnett & Kingsbury, *Planting Green Roofs and Living Walls*, 2008);
- Reduzem a sua amplitude térmica. Numa cobertura tradicional, é usual que ocorram amplitudes térmicas superiores a 100 °C durante o ano e de 50 °C num dia, no respeitante a valores medidos junto à membrana impermeável. As coberturas

ajardinadas permitem uma diminuição destes valores, obtendo-se diferenças de 35 °C num ano e 15 °C num dia (Pinto C. , 2014).

Como referido, todos os fatores acima citados criam tensões sobre os materiais do sistema de cobertura convencional, levando-os ao envelhecimento e a rutura, por isto usualmente os sistemas de coberturas tradicionais têm uma durabilidade expectável de 10 a 15 anos (Pinto C. , 2014). Porém, pesquisas efetuadas na Europa, sugerem que as coberturas ajardinadas duplicam o tempo de vida das membranas das coberturas (Peck & Kuhn, Design Guidelines for Green Roofs, 2000), reduzindo também as necessidades de manutenção. Há ainda estimativas de vida útil para além dos 40 anos (Pinto C. , 2014) e o edifício *Derry and Toms*, no centro de Londres, em Inglaterra, mantém a mesma cobertura ajardinada desde 1938, com a membrana impermeável ainda em bom estado (Peck S. *et al.*, 1999). Assim, o uso de coberturas ajardinadas traz benefícios a nível económico, advindos da diminuição dos custos de manutenção e/ou substituição das membranas impermeáveis.

2.2.3. Diminuição do Risco de Incêndio

As coberturas ajardinadas diminuem o risco de incêndio e retardam a propagação do fogo, pois, a sua camada de substrato técnico, dependendo do seu teor de humidade, oferece resistência ao mesmo. Estudos demonstram que a carga calorífica da vegetação de uma cobertura ajardinada com vegetação seca é de 3 kWh.m⁻², enquanto numa cobertura convencional betuminosa é de 50 kWh.m⁻². Constatou-se ainda que o risco de incêndio numa cobertura betuminosa é de 15 a 20 vezes mais elevado do que numa cobertura ajardinada (Breuning, 2008).

Na Alemanha, as primeiras coberturas ajardinadas foram construídas precisamente com o intuito de reduzir o risco de incêndio. Atualmente este país possui pelo menos 2 000 000 000 m² de coberturas ajardinadas extensivas e não existem registos de incêndios nas mesmas. Por esta razão, as empresas seguradoras oferecem um desconto de 10-20% no seguro dos edifícios que possuam coberturas ajardinadas instaladas que estejam de acordo com o *German FLL-Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green-Roof Sites* (Breuning, 2008).

2.2.4. Diminuição da Poluição Sonora

As coberturas ajardinadas podem ser usadas para aumentar o isolamento acústico dos edifícios. Isto acontece, porque o substrato técnico atenua as vibrações do som, causando um impacto positivo na diminuição da poluição sonora no interior do edifício. Note-se que este fator se torna de extrema importância em locais extremamente ruidosos, por exemplo junto a áreas industriais, aeroportos ou estradas muito movimentadas.

No estudo *“In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs”* são apresentados os seguintes resultados relativamente à medição *in-situ* da propagação de som em coberturas ajardinadas extensivas:

- No caso de difração individual, notou-se uma melhoria acústica de 10 dB, ao longo de uma ampla faixa de frequência;
- No caso de difração dupla, ocorreu impacto positivo na gama de frequências de 50 Hz a 10 kHz (Renterghem & Botteldooren, 2010).

A profundidade do substrato técnico das coberturas ajardinadas em estudo variou de 20 mm a 180 mm e a cobertura vegetal variou de ausência de material vegetal visível a cobertura completa. Com isto, denotou-se que uma profundidade de substrato técnico mais delgada e/ou a presença de vegetação tem um impacto positivo no caso das frequências mais elevadas, enquanto para as baixas frequências ocorrem melhorias em profundidades de substrato técnico maiores (Renterghem & Botteldooren, 2010).

Neste estudo, as medições foram efetuadas após períodos bastante secos, porém haverá uma diminuição da absorção do som caso a humidade do substrato técnico aumente. Denote-se que este facto é preocupante, principalmente porque este tipo de substratos são bastante absorventes, pois a retenção da água é importante para a manutenção das plantas (Renterghem & Botteldooren, 2010). Assim, é necessário pesar os efeitos benéficos desejados de isolamento acústico, com as exigências em água das plantas e a capacidade de retenção de água do substrato técnico, chegando a um compromisso onde todos os fatores sejam favorecidos.

Para demonstrar a importância deste efeito benéfico das coberturas ajardinadas é importante referir que o isolamento acústico foi uma das principais razões para a instalação de uma cobertura ajardinada no edifício da *Gap 901 Cherry Hill*, na Califórnia, Estados Unidos da América (Figura 22), sendo que a cobertura reduziu o ruído em cerca de 50 dB. Este edifício ganhou o prémio de arquitetura *BusinessWeek/Architectural Record Award* em 1998 e situa-se perto de uma via rápida muito ruidosa e na rota do aeroporto internacional de São Francisco (Greenroofs.com, 2015).



Figura 17 – Cobertura ajardinada do edifício da *Gap 901 Cherry Hill*, na Califórnia, Estados Unidos da América (Greenroofs.com, 2015).

2.3. Estudo Transversal dos Benefícios de uma Cobertura Ajardinada

Os benefícios das coberturas ajardinadas são tão vastos que se torna difícil estudá-los de maneira integrada. Porém, existe um estudo relativo aos benefícios transversais de uma cobertura ajardinada, que foi efetuado com o patrocínio de *Toronto City Authority*, *Environment Canada*, *Green Roofs for Healthy Cities*, e da *Canadian National Research Council Institute for Research in Construction*, que contou com a participação de uma equipa multidisciplinar que incluiu engenheiros de estruturas, viveiristas, construtores civis, arquitetos, arquitetos paisagistas e engenheiros de hidráulica (Palha, 2011).

O estudo considerou um cenário em que apenas 6% das coberturas da cidade de Toronto, no Canadá, seriam ajardinadas nos próximos 10 anos, o que representaria 1% da área total de Toronto (aproximadamente 6 milhões m²). Estas coberturas teriam um substrato técnico de 15 cm de profundidade e seriam revestidas por relva ou prado. Os benefícios estimados foram os seguintes:

- Criação de 1350 postos de trabalho diretos e indiretos anualmente;
- Redução de 1 a 2 °C no efeito de ilha de calor urbana;
- Redução da emissão de gases de efeito de estufa em 1,56 Mton;
- Redução de 5-10% das ocorrências de episódios graves de *smog*;
- Retenção pela flora de 29,5 ton.ano⁻¹ de partículas em suspensão na atmosfera;
- Retenção de 3,6 milhões m³.ano⁻¹ de águas pluviais;
- Produção de 4,7 milhões Kg.ano⁻¹ de plantas hortícolas, assumindo a utilização de 10% área das coberturas ajardinadas para este efeito;
- 650 000 m² de área potencial para recreio ativo de uso público e privado;
- Poupança anual de energia de aproximadamente 882500 €.ano⁻¹ (Palha, 2011).

Capítulo IV – Aspetos Relativos à Construção de Coberturas Ajardinadas

1. Enquadramento

Para que os benefícios das coberturas ajardinadas referidos no capítulo anterior sejam efetivos e rentáveis do ponto de vista económico é necessário terem-se em consideração os aspetos relativos à correta construção de uma cobertura ajardinada, bem como aos custos e incentivos associados a essa construção.

1.1. Custos e Incentivos

1.1.1. Custos Inerentes à Construção de uma Cobertura Ajardinada

Segundo Broili, uma cobertura convencional em 2002 nos Estados Unidos da América custava entre 38,89 e 81,41 €.m⁻², sendo que o valor mais baixo corresponde a um sistema que durará 15/20 anos sem reparação e que o mais elevado corresponde a um sistema que durará 30/50 anos sem reparação (Broili, 2002). Por sua vez, o mesmo autor estima que uma cobertura ajardinada extensiva custa 90,45-180,90 €.m⁻² e durará 50/100 anos e uma cobertura ajardinada intensiva tem um custo de 180,90-361,80 €.m⁻² (Broili, 2002). Outros autores apresentam estimativas para o custo aproximado associado a uma cobertura ajardinada extensiva incluindo a membrana impermeável de 123,96 €.m⁻², excluindo a membrana impermeável de 117,76 €.m⁻² e associado a uma cobertura ajardinada intensiva de 123,96 a 173,55 €.m⁻² (Red Rose Forest, 2014).

Apesar de todos os sistemas de cobertura ajardinada conterem componentes comuns, não existem custos padrão para a sua implementação (Peck & Kuhn, Design Guidelines for Green Roofs, 2000). Nos Anexos I e II encontram-se duas tabelas que apresentam uma gama de custos para a construção de uma cobertura ajardinada extensiva e para uma intensiva, respetivamente e identificam-se algumas das principais variáveis que determinam esses custos. Note-se que os custos apresentados nas mesmas assumem que o edifício existente tem capacidade de carga suficiente para a instalação da cobertura ajardinada, que está instalada uma cobertura convencional, e que existe uma escada de acesso (Peck & Kuhn, Design Guidelines for Green Roofs, 2000).

Note-se que o custo de construção de uma cobertura ajardinada pode ser superior ao de uma cobertura convencional, no entanto, a primeira oferece, como antes referido, diversos benefícios, como por exemplo a poupança de energia a nível do edifício ou o aumento da durabilidade dos materiais, que, a longo prazo, acabam por compensar os custos.

Os custos mais elevados de uma cobertura ajardinada resultam de diversos fatores, como:

- Equipamento de transporte dos materiais para a cobertura e distância à cota de soleira;
- Trabalho especializado, na instalação e manutenção;
- Dimensão da cobertura a instalar, sendo que geralmente, quanto maior a dimensão, menor o seu custo por metro quadrado;
- Tipo de cobertura e forma como se realiza a plantação (Peck & Kuhn, Design Guidelines for Green Roofs, 2000).

1.1.2. Incentivos à Construção de uma Cobertura Ajardinada

Com o reconhecimento dos benefícios públicos das coberturas ajardinadas são muitos os governos que atualmente utilizam ferramentas que incentivam à construção de coberturas ajardinadas, tanto a nível de edifícios públicos como privados. Estes incentivos podem ser:

- Incentivos financeiros diretos;
- Incentivos financeiros indiretos;
- Estratégias que visem a proteção do meio ambiente;
- Regulamentação do ordenamento urbano e da construção de edifícios (Raposo, 2013).

Relativamente aos incentivos financeiros diretos, tem-se o caso da zona este de Berlim, na Alemanha, onde foi criado o *The Courtyard Greening Program* (1938-1997), programa que reembolsava os residentes locais em metade dos custos de instalação de uma cobertura ajardinada extensiva (até aproximadamente 70 €.m⁻²). O resultado foi a construção de cerca de 63 500 m² de cobertura ajardinada extensiva durante este período. Atualmente, em alguns locais da vizinhança, ainda existem programas de incentivo à construção das mesmas (Earth Pledge, 2005, pp. 101-111).

Por sua vez, em algumas cidades dos Estados Unidos da América e do Canadá são concedidos incentivos financeiros indiretos, através da redução das taxas de gestão das águas pluviais, a quem possui uma cobertura ajardinada (Castelo-Branco, 2012). Isto acontece, porque a construção de coberturas ajardinadas, como antes referido, regula o escoamento das águas pluviais, permitindo ao governo economizar dinheiro que seria de outro modo utilizado, por exemplo na construção de lagoas para a gestão dessas mesmas águas (Peck & Kuhn, Design Guidelines for Green Roofs, 2000).

Como anteriormente referido as coberturas ajardinadas contribuem para a mitigação dos danos causados no meio ambiente e na paisagem nas áreas urbanas, causando impactes positivos a nível da qualidade da água, do solo, do ar, do clima e do aumento da biodiversidade. Em cidades como Sheffield e Londres, no Reino Unido e Chicago e Nova Iorque, nos Estados Unidos da América, o fomento das coberturas ajardinadas é realizado precisamente para a mitigação do efeito de ilha de calor urbana, a melhoria da qualidade do ar, a eficiência energética, a gestão das águas pluviais e o aumento da biodiversidade. Isto é conseguido

recorrendo a programas de informação e assessoria técnica, demonstrações e análises de custo/benefício (Dunnett & Kingsbury, *Planting Green Roofs and Living Walls*, 2008).

Existem ainda locais onde a construção de uma cobertura ajardinada é obrigatória, como no caso de Munique, na Alemanha, onde as coberturas planas têm de ser ajardinadas; de Copenhaga, na Dinamarca, onde esta obrigatoriedade abrange todas as coberturas com declives inferiores a 30° (Castelo-Branco, 2012) e mais recentemente de França, onde foi aprovada uma lei que dita que as coberturas de todos os novos espaços comerciais têm de ser revestidas parcialmente por plantas ou na totalidade por painéis solares (Green Savers, 2015).

Por sua vez Portugal carece de legislação e incentivos a esta solução construtiva, porém, apresentam-se como exceção os Municípios do Barreiro e de Almada que introduziram nos seus regulamentos municipais recomendações relativas às coberturas ajardinadas.

No Regulamento Municipal de espaços verdes do Município do Barreiro (deliberação n.º 22/2011), no anexo I, capítulo 4 - Conceção e dimensionamento de espaços exteriores consta:

"4.2.1 COBERTURAS AJARDINADAS – Recomenda-se a utilização em coberturas ajardinadas de material vegetal de baixa manutenção, adequado às características climáticas usualmente associadas a zonas de cobertura, nomeadamente, intensa exposição à radiação solar e a ventos, para além das inerentes limitações de drenagem das águas superficiais. Nesse sentido, recomenda-se a utilização de espécies herbáceas e subarbustivas da flora autóctone privilegiando, no caso da preferência pela utilização de plantas exóticas, espécies xerófitas. Salienta-se ainda que a espessura mínima de terra vegetal admitida é de 1,00 m para plantas arbóreas e de 0,60 m para plantas arbustivas, subarbustivas e herbáceas. "

No Regulamento Urbanístico do Município de Almada (RUMA), na secção II componentes da edificação, no artigo 63.º- coberturas consta:

"5 – Sempre que tecnicamente possível ou urbanisticamente adequado devem ser utilizadas coberturas com revestimento vegetal, que promovem a regulação climática e a biodiversidade em meio urbano".

1.2. Camadas das Coberturas Ajardinadas

Como uma cobertura convencional, uma cobertura ajardinada é construída em camadas. Qualquer cobertura deste género possui geralmente sete elementos base, que permitem o crescimento da vegetação e simultaneamente protegem a estrutura onde é construída a cobertura ajardinada (Figura 23). Estes elementos são os seguintes (referidos do interior para o exterior):

- Membrana impermeável;
- Camada de proteção de raízes;
- Isolamento térmico;
- Sistema de drenagem e de retenção da água;
- Camada filtrante;
- Substrato técnico;
- Vegetação (Earth Pledge, 2005, p. 134).

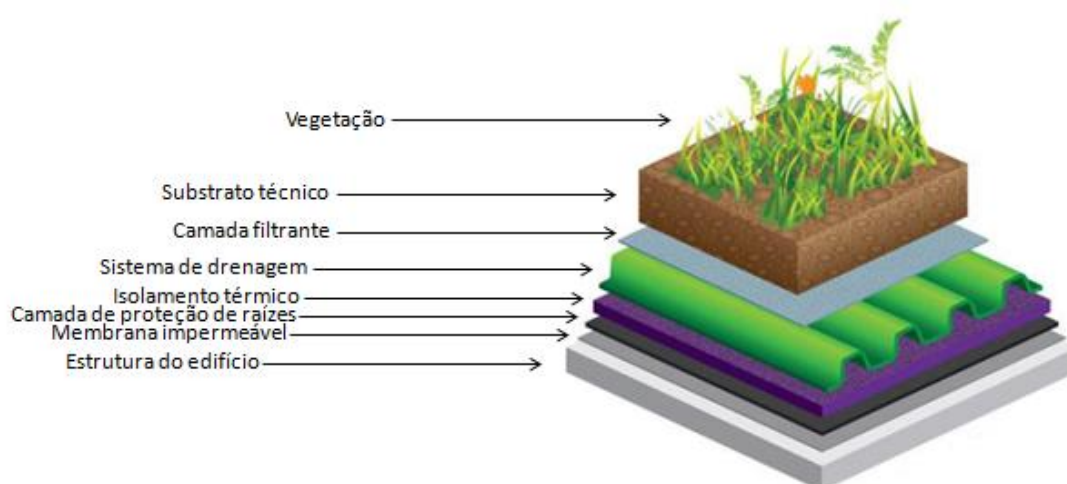


Figura 18 – Perfil de uma cobertura ajardinada com os elementos que a constituem (The Begetter, 2013).

Uma falha num destes elementos poderá ser o suficiente para prejudicar toda a cobertura ajardinada e, conseqüentemente, o edifício sobre o qual a mesma está construída. Assim, é de extrema importância que haja rigor na escolha dos materiais e na sua aplicação ao local (Osmundson, 1999, p. 163). O atual sistema para a construção de uma cobertura ajardinada foi desenvolvido pela *German Society for Landscape Development and Landscape Design*, que também estabelece quais os materiais que devem ser utilizados e a forma como as coberturas ajardinadas devem ser monitorizadas. Obviamente, os materiais e a construção em si diferem de projeto para projeto, dependendo de fatores como a função da cobertura e a localização geográfica do local (Earth Pledge, 2005, p. 134). Nos pontos seguintes apresentam-se algumas características dos elementos base acima referidos.

1.2.1. Membrana Impermeável

A membrana impermeável é utilizada tanto em coberturas ajardinadas como em coberturas convencionais. A sua função é resistir à pressão hidrostática, protegendo a estrutura do edifício. Existem algumas variedades deste tipo de membranas:

- *Modified bituminous membranes* (Figura 24) feitas pela fusão de dois feltros orgânicos com betume que contém borracha sintética, de modo a tornar-se mais flexível, elástico e resistente;
- *Thermoplastic membranes*, como por exemplo o *Polyvinyl chloride* (PVC);
- *Elastomeric membranes*, constituídas por borracha sintética, como por exemplo a borracha de etileno-propileno dieno (EPDM) (Earth Pledge, 2005, p. 134).



Figura 19 – Aplicação de uma *Modified bituminous membranes* na cobertura de um edifício (Earth Pledge, 2005).

Note-se que, após a sua aplicação, deve ser efetuado um teste que confirme que a estrutura do edifício está devidamente impermeabilizada. Acrescenta-se ainda que, caso esta membrana cumpra os requisitos de resistência à penetração de raízes da *FLL*, pode assumir simultaneamente a função de camada de proteção de raízes (FLL, 2002).

1.2.2. Camada de Proteção de Raízes

A camada de proteção de raízes é uma camada sintética que resguarda a membrana impermeável precisamente da penetração das raízes da vegetação da cobertura ajardinada. Note-se que as membranas *Elastomeric membranes* e *Modified bituminous membranes* são particularmente suscetíveis à invasão pelas raízes. Por sua vez, as *Thermoplastic membranes* compostas por materiais sintéticos não necessitam desta camada extra de proteção (Earth Pledge, 2005, p. 134).

Existem dois tipos de barreiras às raízes: mecânicas e químicas. As barreiras mecânicas são constituídas por uma camada fina de *Low-density polyethylene* ou de *High-density polyethylene* (LDPE ou HDPE), PVC, EPDM, poliolefina termoplástica (TPO), entre outros. Por outro lado, as barreiras químicas podem ser constituídas por folhas de cobre, tecido impregnado com sulfato de cobre ou tecido embebido em herbicida, sendo este último proibido em diversos países (Office of the Chief Building Official, 2015, p. 3). Estas últimas causam maiores danos no meio ambiente e, conseqüentemente, no ser humano, pois existe o risco de lixiviação dos elementos químicos nelas presentes.

1.2.3. Isolamento Térmico

Uma cobertura ajardinada, por si só, confere isolamento térmico ao edifício, porém este poderá não ser eficiente durante os períodos de temperatura mais baixa. Como tal, a camada de isolamento térmico garante a maximização da poupança em energia, pois limita as trocas de calor entre o interior e o exterior do edifício, estabilizando a sua temperatura e garantindo a diminuição do uso de aparelhos como aquecedores e sistemas de ar condicionado. Dois tipos de isolamento térmico frequentemente utilizados são: o *Polyisocyanurate* e o *Extruded polystyrene* (Figura 25) (Earth Pledge, 2005, pp. 134-135).



Figura 20 – Aplicação de *Extruded polystyrene* numa cobertura ajardinada (Earth Pledge, 2005).

Esta camada aplicada na cobertura verde, para além de ter as propriedades físico-químicas características dos isolantes térmicos, deve ter capacidade mecânica para suportar cargas resultantes do substrato, água acumulada e outras cargas que possam ocorrer na cobertura ajardinada.

1.2.4. Sistema de Drenagem e de Retenção da Água

Uma drenagem eficiente é de extrema importância para o bom funcionamento da cobertura ajardinada. O sistema de drenagem e de retenção da água (Figura 26) previne a sobressaturação, garantido o arejamento das raízes e conferindo-lhes espaço extra para o seu crescimento (Earth Pledge, 2005, p. 135). Este sistema deve ser bastante poroso, de modo a permitir a fácil percolação da água, deve também ser permeável e resistente ao ponto de poder

suportar os elementos da cobertura ajardinada que irão ser colocados sobre si (Osmundson, 1999, p. 163). A quantidade de água armazenada pode ser posteriormente utilizada pelas plantas. Qualquer bloqueio do sistema de drenagem poderá causar a perda de vegetação da cobertura ajardinada ou a penetração da água na estrutura sobre a qual a mesma está construída (Osmundson, 1999, p. 164).

Este sistema pode ser dos seguintes tipos:

- *Synthetic drainage boards*, geralmente de plástico leve e resistente, existindo em diversos formatos;
- *Granular aggregate*, que consiste numa mistura mineral de argila, lava, ardósia expandida, escória, tijolo e vidro com espuma. Este armazena água com maior efetividade, porém é mais pesado do que o primeiro;
- *Retention layers*, constituída por feltro ou por outros materiais reciclados absorventes, que permitem o armazenamento de água para posterior utilização pela vegetação em tempos de seca (Earth Pledge, 2005, p. 135).

Note-se que coberturas com uma inclinação superior a aproximadamente 5,3° garantem a drenagem natural da água, tornando este sistema desnecessário. Porém, nestes casos, este tipo de sistema poderá ser usado para retenção extra de água (Earth Pledge, 2005, p. 135).

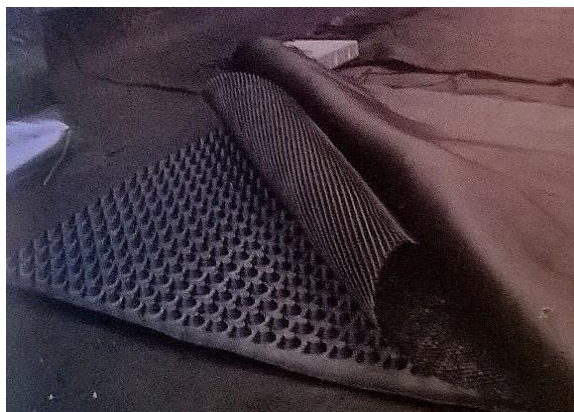


Figura 21 – Sistema de Drenagem e de Retenção da Água de uma cobertura ajardinada (Earth Pledge, 2005).

1.2.5. Camada Filtrante

A camada filtrante é permeável à água e impede a drenagem das partículas finas e dos sedimentos do substrato técnico, protegendo o sistema de drenagem e de retenção da água e mantendo a integridade do próprio substrato técnico. Esta camada deve ser resistente às raízes, fácil de transportar e de instalar e de baixo custo (Osmundson, 1999, p. 163). A camada filtrante mais utilizada atualmente consiste num filtro geotêxtil, usualmente de poliéster, ou então numa camada de polipropileno não tecido (Earth Pledge, 2005, p. 135).

1.2.6. Substrato Técnico

O substrato técnico (Figura 27) – essencial para a construção de uma cobertura ajardinada – é o elemento menos compreendido e sobre o qual menos pesquisas foram efetuadas. Apesar de ser a camada superficial, o substrato técnico é o alicerce de uma cobertura ajardinada, disponibilizando a base de nutrientes e o espaço para as plantas se desenvolverem.



Figura 22 – Aplicação de um substrato técnico numa cobertura ajardinada (Earth Pledge, 2005).

Um substrato técnico é muito mais do que um solo comum e a sua composição deve ser determinada pela capacidade de retenção de água, massa, arejamento e capacidade de retenção de nutrientes, características baseadas na porosidade e na dimensão das partículas (Earth Pledge, 2005, p. 135). Geralmente estes substratos possuem elevado teor em materiais porosos e baixo teor em matéria orgânica, de modo a que o equilíbrio entre massa, volume e desempenho seja mantido.

A composição do substrato técnico deverá ser adequada à tipologia de cobertura ajardinada (extensiva, semi-intensiva ou intensiva) a que se destina, à localização da mesma e ao tipo de vegetação a utilizar. Deste modo, os fatores anteriormente referidos devem ser considerados na escolha dos seguintes parâmetros:

- Misturas de solo;
- Misturas de agregados:
 - Mistura de agregado mineral, com elevado conteúdo em matéria orgânica;
 - Mistura de agregado mineral, com baixo conteúdo em matéria orgânica;
 - Mistura de agregado mineral, bastante porosa, sem matéria orgânica;
- Tabuleiros de solo:
 - Constituídos por matérias de espuma modificados;
 - Constituídos por fibras minerais (FLL, 2002, p. 46).

Para a escolha de um substrato técnico adequado devem ainda ser tidos em conta os seguintes parâmetros:

- Compatibilidade ambiental;
- Compatibilidade com as plantas a serem utilizadas;
- Distribuição granulométrica;
- Conteúdo em matéria orgânica;
- Permeabilidade à água e sua capacidade de retenção;
- Arejamento;
- pH;
- Conteúdo em sais;
- Conteúdo em nutrientes;
- Conteúdo em sementes ou outras partes da planta capazes de germinar/regenerar (FLL, 2002, p. 47).

1.2.6.1. Compatibilidade Ambiental

Os materiais utilizados na composição de um substrato técnico não deverão causar impacto negativo no meio ambiente, como por exemplo através de lixiviação ou da libertação de gases poluentes. Tem também de ser considerada a legislação em vigor no local onde será utilizado o substrato técnico (FLL, 2002, p. 21).

1.2.6.2. Compatibilidade com as Plantas a serem Utilizadas

Os constituintes de um substrato técnico não devem conter qualquer componente que seja prejudicial para a germinação das sementes e/ou desenvolvimento da vegetação. Caso se suspeite de Fitotoxicidade devem ser efetuados os testes necessários para a averiguação da mesma (FLL, 2002, p. 21).

1.2.6.3. Distribuição Granulométrica

A distribuição granulométrica de um solo corresponde à dimensão das partículas individuais que são observáveis nesse mesmo solo e exprime-se através da proporção relativa em que se encontram no solo lotes de partículas com diâmetros compreendidos entre determinados limites. Assim, num solo são consideradas duas frações:

- Fração Grosseira, onde as partículas têm diâmetros maiores do que 2 mm, estando compreendidos nesta fração o saibro (diâmetro de 2-5 mm), o cascalho (diâmetro de 5-20 mm), as pedras (diâmetro de 2-10 cm), os calhaus (diâmetro de 10-20 cm) e os blocos (diâmetro > 20 cm);
- Fração Fina, onde as partículas têm diâmetros menores do que 2 mm, estando compreendidos nesta fração a Areia Grossa (diâmetro de 2-0,2 mm), a Areia Fina (diâmetro de 0,2-0,02 mm), o Limo (diâmetro de 0,02-0,002 mm) e a Argila (diâmetro < 0,002 mm) (Brady & Weil, 2002).

Posto isto, é preciso ponderar que, um solo grosseiro tem reduzida capacidade de retenção de água, mas permite um melhor arejamento das raízes. Por sua vez, um solo com partículas finas garante uma melhor retenção de água e nutrientes, reservando-os para períodos mais secos. Deste modo, um bom substrato técnico é normalmente composto por uma mistura de agregados leves e porosas, de diferentes dimensões, sendo os mais utilizadas atualmente: o xisto expandido, os tijolos triturados e o vidro vulcânico (Earth Pledge, 2005, p. 135).

É também recomendado que o conteúdo combinado de argila e limo não exceda os valores apresentados na Tabela 4, de modo a prevenir a obstrução da camada filtrante, o que provocaria excesso de acumulação de água no substrato técnico (Osmundson, 1999, p. 170). Por sua vez, a maior dimensão dos agregados é função da profundidade do substrato técnico e é recomendado que cumpra os valores apresentados na Tabela 5. É ainda aconselhada uma estabilidade estrutural destes agregados, que pode ser determinada pela distribuição granulométrica e pela forma dos grãos (FLL, 2002, p. 49).

Tabela 4 – Valores recomendados para as quantidades de argila e limo nos substratos técnicos, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 47).

Tipo de cobertura ajardinada	Quantidade de argila e limo (% em massa)
Intensiva	20
Extensiva	7-15

Tabela 5 – Valores recomendados para a dimensão dos agregados em função da profundidade do substrato técnico (Adaptado de: FLL, 2002, p.47).

Dimensão dos agregados (diâmetro em cm)	Profundidade do substrato técnico (mm)
<10	10-12
>10	<16

1.2.6.4. Conteúdo em Matéria Orgânica

O conteúdo em matéria orgânica que um substrato técnico deve conter é função da tipologia da cobertura ajardinada em questão, sendo que os valores recomendados podem ser encontrados na Tabela 6. Porém é de se salientar que, por vezes, a utilização de determinada vegetação, requer a adição de uma maior quantidade de matéria orgânica do que a estipulada nestes valores (FLL, 2002, p. 49).

Tabela 6 – Valores recomendados para o conteúdo em matéria orgânica de um substrato técnico, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 49).

Tipo de cobertura ajardinada		Conteúdo em matéria orgânica (% em massa)
Intensiva		6-12
Extensiva	Com construção <i>multiple-course</i> ⁱ	6-8
	Com construção <i>single-course</i> ⁱⁱ	4

1.2.6.5. Permeabilidade à Água e sua Capacidade de Retenção

É recomendado que a permeabilidade do substrato técnico à água cumpra os critérios apresentados na Tabela 7. Estes valores poderão ainda ser ajustados tendo em conta o tipo de camada de drenagem e o sistema de drenagem e de retenção da água que será utilizado (FLL, 2002, p. 50). Relativamente à capacidade de armazenamento de água os valores recomendados para os diferentes tipos de cobertura ajardinada podem ser encontrados na Tabela 8.

Tabela 7 – Valores recomendados para a permeabilidade do substrato técnico à água, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 50).

Tipo de cobertura ajardinada		Permeabilidade à Água (cm.s ⁻¹)
Intensiva		≥ 0,0005
Extensiva	Com construção <i>multiple-course</i>	≥ 0,001
	Com construção <i>single-course</i>	≥ 0,1

Tabela 8 – Valores recomendados para a capacidade de retenção de água, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 50).

Tipo de cobertura ajardinada		Capacidade de retenção de água (% em volume) ⁱⁱⁱ
Intensiva		≥ 45
Extensiva	Com construção <i>multiple-course</i>	≥ 35
	Com construção <i>single-course</i>	≥ 20

ⁱ Contém uma camada correspondente ao sistema de drenagem.

ⁱⁱ O substrato técnico e a camada vegetal conferem à cobertura a função de drenagem, sendo desnecessário o sistema de drenagem.

ⁱⁱⁱ Sendo que o valor máximo de retenção de água não deverá exceder os 65%, de modo a evitar encharcamento.

1.2.6.6. Arejamento

O arejamento de um substrato técnico é determinado pelo volume total de macroporos, isto é, dos poros com diâmetro superior a 80 µm (Brady & Weil, 2002). Para se atingir um arejamento adequado, é aconselhado que a proporção de macroporos, em função do tipo de cobertura ajardinada, corresponda aos valores descritos na Tabela 9 (FLL, 2002, p. 50).

Tabela 9 – Proporção recomendada para os poros de largura grosseira num substrato técnico, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 50).

Tipo de cobertura ajardinada	Macroporos (% em volume)
Intensiva	20
Extensiva	25

1.2.6.7. pH

O valor de pH de um substrato técnico deverá ser adequado ao tipo de plantas que se pretende utilizar. Uma vez que o tipo de vegetação utilizada está relacionado com o tipo de cobertura ajardinada a construir, é possível organizar os valores de pH em cloreto de cálcio (CaCl₂) em função do mesmo (Tabela 10) (FLL, 2002, p. 50).

Tabela 10 – pH recomendado para o substrato técnico, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 50).

Tipo de cobertura ajardinada		pH adequado
Extensiva	Intensiva	5,5-8,0
	Com construção <i>multiple-course</i>	6,5-8,0
	Com construção <i>single-course</i>	6,5-9,5

1.2.6.8. Conteúdo em Sais

O conteúdo em sais recomendado para um substrato técnico deverá ser determinado em função do tipo de cobertura ajardinada a construir (FLL, 2002, p. 51). Os valores recomendados para este parâmetro podem ser encontrados na Tabela 11. Caso o conteúdo em sais solúveis encontrados na água do substrato técnico exceda os valores estabelecidos, deverá ser efetuado um teste com uma solução saturada de gipsite e uma análise cuidada do risco ambiental que poderá advir da lixiviação destes sais (FLL, 2002, p. 51).

Tabela 11 – Conteúdo em sais recomendado para um substrato técnico, em função do tipo de cobertura ajardinada (Adaptado de: FLL, 2002, p. 51).

Tipo de cobertura ajardinada	Conteúdo em sais (g.L ⁻¹)
Intensiva	2,5
Extensiva	3,5

1.2.6.9. Conteúdo em Nutrientes

Os valores recomendados para o Azoto (N) total, o Fósforo (expresso em P_2O_5), o Potássio (expresso em K_2O) e para o Magnésio (Mg) presentes num substrato técnico podem ser encontrados na Tabela 12. Estes valores não devem ser excedidos, de modo a evitar a contaminação ambiental por lixiviação (FLL, 2002, p. 51).

Tabela 12 – Conteúdo em nutrientes recomendados para um substrato técnico (Adaptado de: FLL, 2002, p. 51).

Conteúdo em nutrientes (mg.L ⁻¹)			
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
≤ 80	≤ 200	≤ 700	≤ 160

1.2.6.10. Conteúdo em Sementes ou Outras Partes da Planta Capazes de Germinar/Regenerar

Aquando da introdução do substrato técnico numa cobertura ajardinada este não deverá conter quaisquer plantas vivas, vestígios de sementes ou outros vestígios vegetais capazes de germinar/regenerar. Os materiais utilizados na preparação do substrato técnico deverão ser protegidos da inclusão do acima referido, na sua recolha e preparação, bem como posteriormente, quando são armazenados (FLL, 2002, p. 52).

1.2.7. Vegetação

Nem todas as espécies de flora se adequam às condições de uma cobertura ajardinada. A seleção das espécies apropriadas é essencial tanto a nível ambiental como a nível estético. Para isto é necessário ter em consideração as seguintes condicionantes:

- Clima e microclima: as plantas selecionadas devem ser apropriadas ao clima local. Para além disto, deve ter-se em conta que as coberturas ajardinadas possuem microclimas que afetam o desenvolvimento da vegetação, provocados, por exemplo por zonas específicas de sol/sombra ou por padrões de vento;
- Peso: é importante considerar a massa que vegetação atingirá em adulta, de modo a que a carga máxima da cobertura não seja ultrapassada;
- Sementes: as plantas com sementes podem disseminar as mesmas, provocando o crescimento de inúmeros espécimes indesejáveis;
- Longevidade: uma cobertura ajardinada básica com baixas necessidades de manutenção é normalmente plantada com vegetação perene e vegetação do género *Sedum*. Por sua vez, as coberturas ajardinadas intensivas podem suportar espécies anuais e que necessitem de elevada manutenção. As plantas do género *Sedum* têm-se tornado comuns nas coberturas ajardinadas extensivas. Por oferecerem elevada resistência à seca são maioritariamente aplicadas em locais áridos e de elevadas temperaturas. Estas armazenam água de modo eficiente sendo consideradas plantas CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*), ou seja, os seus estomas estão fechados durante o período diurno, pelo qual elas só transpiram no período noturno, quando a perda de água é mínima. Para além disto oferecem outras vantagens, como por

exemplo terem reduzida massa em estado de maturação, serem não-invasoras e existirem em diversas cores o que contribui para a componente estética (Earth Pledge, 2005, pp. 135-136);

- Endemismos: a aplicação de espécies endêmicas em cobertura ajardinadas garante uma adequação sustentável e fomenta a biodiversidade local, reduzindo o risco de invasão de vegetação exótica. Estas espécies estão bem adaptadas às condições edafoclimáticas locais, apresentando reduzidas exigências hídricas e elevada resistência a pragas e doenças, o que permite a redução dos custos de manutenção, rega e fertilização (Dunnett, Plant Performance and Biodiversity - Green Roofs for Biodiversity: Reconciling Aesthetics with Ecology, 2006).

Deve ainda acrescentar-se que a capacidade da vegetação sobreviver numa cobertura ajardinada é diretamente proporcional ao tempo de manutenção e ao orçamento alocados ao projeto, especialmente nos dois primeiros anos, quando a vegetação ainda se está a estabelecer (Peck & Kuhn, Design Guidelines for Green Roofs, 2000, p. 13).

Capítulo V – Problemática Associada às Coberturas Ajardinadas

1. Enquadramento

Após se ter analisado no Capítulo IV a correta construção de uma cobertura ajardinada, descrevendo os seus componentes, os custos e os incentivos a si associados, refere-se agora no presente capítulo a problemática associada à construção indevida destas coberturas.

Em novembro de 2013, a cobertura ajardinada do *Maxima Shopping Center* em Riga, Letónia, colapsou (Figura 28), causando 54 mortos, naquele que foi considerado o desastre mais mortífero da história da Letónia desde a sua independência em 1991 (Gusta, 2015). O projeto deste edifício, que chegou a ser distinguido com o prémio *Latvian Building of the Year*, foi realizado por Zane Kalinka e Andris Kalinka, da firma KUBS, desenvolvido por Homburg Valda e construído pela companhia *Re&Re* (Goldmanis, 2013).

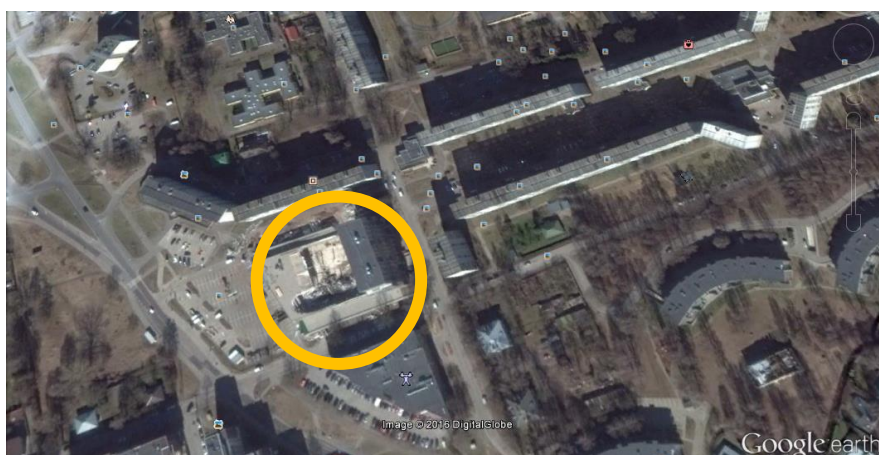


Figura 28 – Escombros do *Maxima Shopping Center* em Riga, Letónia, em março de 2014 (Google, Inc., 2015).

As possíveis causas e consequências desta tragédia foram amplamente analisadas. Tom Sadvski, o porta-voz da polícia letã, anunciou que os envolvidos no acidente foram investigados segundo três linhas de investigação, todas elas envolvendo possíveis violações das leis de construção:

- Erros de projeto;
- Erros decorrentes do processo de construção;
- Monitorização inadequada (Skadmanis, 2013).

A mesma fonte refere que, apesar do *Maxima Shopping Center* ter sido inaugurado em 2011, a cobertura ajardinada deste ainda se encontrava em construção e os materiais e equipamentos necessários encontravam-se armazenados no próprio local. Ivars Sergets, representante do grupo de engenharia estrutural *HND* afirmou que “Não existem razões para se questionar se as especificações técnicas para a construção da cobertura ajardinada estariam a ser seguidas corretamente. A cobertura, com uma área de mais de 4000 m² estava construída para suportar uma carga máxima total de 1,5 ton.m⁻²” (Skadmanis, 2013) e Markuss Molls, da consultoria da Comissão Europeia, afirmou que a cobertura ajardinada tinha sido supervisionada e que a

espessura do substrato técnico havia sido verificada, não excedendo os 15 cm, valor que correspondia ao estipulado no projeto de construção (Fulcher, 2013). Porém os nevões do inverno rigoroso que se faziam sentir, em conjunto com os materiais e maquinaria referidos, poderão ter provocado que a carga máxima da cobertura fosse excedida, violando as regras de segurança.

Sabe-se ainda que, originalmente, o projeto apenas previa a existência de vegetação na cobertura ajardinada, porém, posteriormente, a *Riga Building Administration* permitiu que se procedesse a adição de passadiços em pedra (Goldmanis, 2013), o que poderá ter provocado ainda mais a sobrecarga da estrutura.

Fontes referem que eram visíveis correntes de água a escorrerem diretamente da cobertura (Peek, 2013), levando a inferir que a mesma não teria uma drenagem da água eficiente, fator que consiste num dos requisitos essenciais para o bom funcionamento de uma cobertura ajardinada. Qualquer bloqueio da drenagem poderá causar a perda das plantas, bem como a percolação da água pelas diferentes partes constituintes da cobertura (Osmundson, 1999, p. 164), podendo no limite, causar o seu colapso.

Este acontecimento desencadeou graves consequências de cariz político, uma vez que uma semana após o incidente o primeiro-ministro Valdis Dombrovskis se demitiu, o que tornou a situação do país ainda mais caótica (Goldmanis, 2013). Para além das consequências políticas e das óbvias consequências de carácter social, este incidente desencadeou o aumento da pressão para a necessidade de supervisionamento durante a realização de projetos e a construção de edifícios (Gusta, 2015).

O colapso da cobertura ajardinada do *Maxima Shopping Center* não é um caso isolado, tendo acontecido a rutura de outras coberturas noutros locais do mundo. Como por exemplo, em fevereiro de 2011, a cobertura ajardinada do *St. Charles*, sede da empresa de construção *Aquascape*, em Illinois, Estados Unidos da América, ruiu parcialmente (Figura 29). A causa provável deste desabamento foi atribuída ao entupimento do sistema de drenagem, devido à formação de gelo, impedindo a correta drenagem das águas da pluviosidade e neve fundida (Laylin, 2013).



Figura 29 – Cobertura ajardinada do St. Charles, em Illinois, Estados Unidos da América antes e após o colapso (adaptado de Laylin, 2013).

2. Fundamentação

Há uma tendência crescente para a implementação do princípio do desenvolvimento sustentável nas empresas de construção e arquitetura (Gusta, 2015). Este princípio requer que se atinjam objetivos a nível ambiental, social e económico. Apoia-se no pressuposto de que os projetos dos edifícios devem permitir a integridade dos ecossistemas, promovendo a estabilidade climática e a conservação da biodiversidade, sendo ao mesmo tempo eficientes para o desenvolvimento e equilíbrio da economia local e mundial, sem descuidar a equidade e coesão social e a responsabilização das partes intervenientes.

Assim a segurança e a durabilidade das construções são condições básicas para a longevidade e sustentabilidade dos edifícios e, portanto, também para a segurança humana (Gusta, 2015). Deve agir-se de modo a que o Regulamento n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de março de 2011, que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção, seja inteiramente cumprido. De acordo com o Anexo I do mesmo, que refere os Requisitos Básicos das Obras de Construção:

“As obras de construção devem, no seu todo e nas partes separadas de que se compõem, estar aptas para o uso a que se destinam, tendo em conta, nomeadamente, a saúde e a segurança das pessoas nelas envolvidas durante todo o ciclo de vida da obra.

(...)

1. Resistência mecânica e estabilidade

As obras de construção devem ser concebidas e construídas de modo a que as ações a que possam estar sujeitas durante a construção e a utilização não causem:

a) Desabamento total ou parcial da obra

(...)

3. Higiene, saúde e ambiente

As obras de construção devem ser concebidas e realizadas de modo a não causarem, durante o seu ciclo de vida, danos à higiene, à saúde e à segurança dos trabalhadores, dos ocupantes e dos vizinhos, e a não exercerem um impacto excessivamente importante, durante todo o seu ciclo de vida, na qualidade ambiental nem no clima durante a sua construção, utilização ou demolição, em consequência, nomeadamente, de:

(...)

f) Descarga deficiente de águas residuais, emissão de efluentes gasosos ou eliminação deficiente de resíduos sólidos ou líquidos;

(...)

4. Segurança e acessibilidade na utilização

As obras de construção devem ser concebidas e realizadas de modo a não apresentarem riscos inaceitáveis de acidentes ou danos durante a sua utilização e funcionamento.

(...)

6. Economia de energia e isolamento térmico

(...)

7. Utilização sustentável dos recursos naturais

As obras de construção devem ser concebidas, realizadas e demolidas de modo a garantir uma utilização sustentável dos recursos naturais” (Regulamento (UE) N.º 305/2011 Do Parlamento Europeu e Do Conselho, 2011).

Apesar de todas as vantagens das coberturas ajardinadas anteriormente referidas, não pode ser esquecido que estas são estruturas de engenharia, devendo ser tomadas todas as medidas de segurança necessárias aquando da sua construção e efetuada uma monitorização adequada (Gusta, 2015). Os projetos e a construção das coberturas ajardinadas e dos edifícios a que as mesmas estão associadas requerem uma ampla perícia técnica. É crucial que o *design* destas coberturas responda a uma grande variedade de critérios ambientais, económicos e culturais. Quando tal aproximação for suportada pela engenharia e tecnologia será possível a construção de coberturas ajardinadas de alto desempenho (Earth Pledge, 2005, p. 12).

Capítulo VI – Proposta de Substratos Técnicos

1. Enquadramento

Como acima referido, existe pouca informação relativa à composição e utilização adequadas de um substrato técnico. Por este motivo considera-se de extrema importância a realização de um estudo que culmine na criação de novos substratos técnicos, que respeitem os parâmetros aconselhados anteriormente referidos, entre os quais serem leves, porosos, permitirem uma boa drenagem, reterem a humidade e, claro, não apresentarem problemas do ponto de vista ambiental.

Devido à falta de estudos realizados por peritos em solos é impossível declarar que alguma mistura de solos irá respeitar todos os requisitos necessários para ser considerada um substrato técnico de coberturas ajardinadas satisfatório e permanente. Porém, poderão obter-se alguns resultados baseados na experimentação e em processos de dedução (Osmundson, 1999, p. 175).

1.1. Possíveis Constituintes de um Substrato Técnico

Quando a construção das coberturas ajardinadas não segue determinadas medidas de segurança e não utiliza os materiais adequados, podem ocorrer acidentes como os acima referidos. Denote-se que os substratos técnicos atualmente utilizados, quando não são adequados, poderão ser um dos maiores causadores deste tipo de problemas. Por esta razão, de seguida analisa-se a viabilidade da utilização de diversos materiais comumente presentes num substrato técnico.

1.1.1. Solo Natural

O solo natural não é uma boa escolha no que diz respeito a utilização em coberturas ajardinadas. Note-se que geralmente um solo natural contém finas partículas de limo e de argila, extremamente desaconselhadas para uma cobertura ajardinada, pois poderão, por exemplo obstruir a camada filtrante, aumentando o risco de má drenagem da água e a conseqüentemente formação de lama (Figura 30), que poderá causar que se exceda a carga adequada para a cobertura ajardinada em questão, causando, no pior dos casos, o seu colapso.

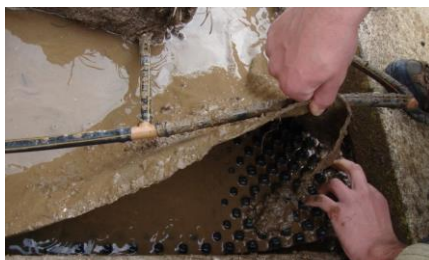


Figura 30 – Problema associados ao uso de solo em vez de substrato técnico numa cobertura ajardinada (ZinCo, 2015).

A remoção destas partículas de limo e argila é possível, mas dispendiosa e, para além disto, estudos realizados na Suíça e na Alemanha comprovam outros inconvenientes da utilização de solos naturais em coberturas ajardinadas:

- Geralmente não obedecem às especificações granulométricas adequadas;
- Tornam-se pesados quando encharcados;
- Contêm baixa porosidade, que é geralmente corrigida pela microfauna, que no caso de utilização em cobertura ajardinada decai e tem de ser frequentemente substituída. A baixa porosidade, em termos de macroporos prejudica a drenagem e o arejamento, por sua vez em termos de microporos será prejudicial para a capacidade de retenção de água;
- Caso possua elevado conteúdo em argila, esta causará compactação e irá reter demasiada humidade;
- Caso o conteúdo em areia seja elevado, a drenagem será demasiado rápida e a retenção de nutrientes será reduzida;
- Podem conter sementes, pragas e doenças, a menos que sejam esterilizados;
- Devido à elevada atividade microbiológica que possuem, o conteúdo em matéria orgânica decai rapidamente, sendo lixiviado (Osmundson, 1999, p. 175).

1.1.2. Areia

Analisando agora a opção da utilização de areia, deve referir-se que a mesma pode ser facilmente separada em termos granulométricos e é uma opção relativamente económica. A areia pode ainda ser facilmente desprovida por lixiviação de quaisquer sais, ou outras substâncias que apresentem risco ambiental, devido à sua elevada porosidade. A mesma característica pode ser vista de um ponto de vista negativo, uma vez que a areia não permite a retenção de nutrientes ou água, ambos necessários para a germinação e desenvolvimento da vegetação (Osmundson, 1999, p. 176).

O uso de um substrato técnico apenas composto por areia causaria a necessidade de reposição constante de nutrientes e de elevada irrigação. Assim, será sempre necessário adicionar à areia um material permanente que permita o aumento da retenção de água e nutrientes (Osmundson, 1999, p. 176).

1.1.3. Xisto, Ardósia ou Argila Expandidos

O xisto, a ardósia ou a argila expandidos, são geralmente os materiais adicionados à areia para melhorar as suas propriedades. Porém, estudos indicam que a utilização destes materiais não deve ser superior a 80%; caso esse valor seja ultrapassado observa-se uma redução no desenvolvimento da vegetação (Rowe, *et al.* 2006).

O xisto e a argila expandidos são comercializados com uma grande variedade de nomes. Na Alemanha a marca mais conhecida é a *Leca*. Acrescenta-se que a *Leca* por si só, isto é, sem a adição de outros componentes, tem sido utilizada como substrato técnico em coberturas ajardinadas extensivas (Osmundson, 1999, p. 176). Esta substância é relativamente económica e é produzida através da queima a elevadas temperaturas (1150 °C) de argila, xisto ou ardósia, até que os mesmos expandam, formando *pellets* esféricos, porosos (arejamento das raízes), que permitem a retenção de água (absorve 35% do seu volume em água) e tornam o produto mais leve (450 kg.m⁻³) (Figura 31). Para além disto, esta substância é praticamente neutra (6,6 ≤ pH ≤ 7,5), pelo que, caso seja utilizada em conjunto com outras substâncias, não afeta o pH da mistura (Osmundson, 1999, p. 176).

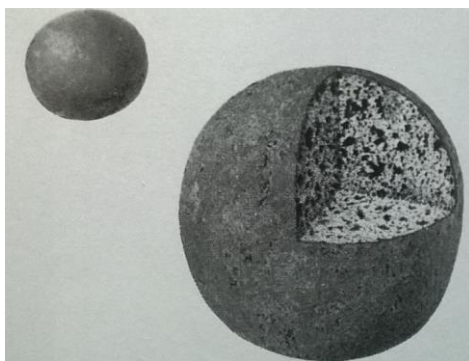


Figura 31 – Esfera de Leca seccionada (Osmundson, 1999, p. 176).

Como referido, no caso de uma cobertura extensiva, poderá utilizar-se esta substância sem ser misturada com outros componentes, porém, caso se queiram integrar plantas de maior porte na cobertura ajardinada, será necessária a adição de outro material inorgânico à *Leca*, como por exemplo areia, que conferirá à mistura uma maior estrutura e peso adicional. Uma pequena quantidade de húmus poderá ser ainda adicionada, conferindo à mistura matéria orgânica, capacidade de retenção de água extra e estrutura (Osmundson, 1999, p. 176 e 177).

1.1.4. Diatomaceous Earth

A *Diatomaceous Earth* é um produto criado nos Estados Unidos da América, que consiste numa alternativa ao húmus orgânico. Este permite a absorção de água e nutrientes, disponibilizando-os posteriormente para a vegetação sem se decompor e é resistente à compactação. Consiste nos resíduos das algas marinhas anciãs unicelulares – diatomáceas – que são processados, obtendo-se uma substância dura e leve. O produto é comercializado em *pellets* de dimensão grosseira, regular e fina (Figura 32) (Osmundson, 1999, p. 177).



Figura 32 – Pellets de *Diatomaceous Earth* (Osmundson, 1999, p. 177).

1.1.5. Isolite

A Isolite é um inerte poroso produzido no Japão, que é derivado de plâncton e de algas marinhas. Esta substância, para além de ser leve (512 kg.m^{-3}), permite o arejamento do substrato e a retenção de água e nutrientes e, uma vez que é composta por partículas de menores dimensões do que as substâncias acima referidas, permite que a mistura ocupe menor volume.

1.1.6. Perlite e Vermiculite

A perlite e a vermiculite consistem em materiais naturais inorgânicos que foram submetidos a elevadas temperaturas, de modo a expandirem e aumentarem a sua porosidade, sendo que a perlite consiste em vidro vulcânico expandido e a vermiculite em mica expandida. Estes materiais permitem a retenção de água e nutrientes e garantem elevado arejamento. Porém são ambos frágeis, sendo facilmente desintegrados.

1.1.7. Zeolite

A zeolite é um mineral alumínio-silicato poroso. Estudos realizados no Colorado, nos Estados Unidos da América, com a zeolite *ZeoponiX Inc.* demonstram resultados controversos relativamente à sua utilização. Pois, apesar da *ZeoponiX Inc.* aumentar a capacidade de retenção em água e nutrientes e fornecer uma estrutura relativamente estável para a germinação e desenvolvimento da vegetação, os resultados obtidos dependem do tipo da mesma e da quantidade de produto utilizada (Klett, 2013).

1.1.8. Poliestireno Expandido

O poliestireno expandido é outro dos materiais utilizados como coconstituinte de um substrato técnico. Este é bastante resistente à decomposição, permite um aumento do arejamento e da drenagem e diminui a densidade aparente do substrato. Porém, pode sofrer alterações quando exposto a elevadas temperaturas (Aggie Horticulture, 2016) e aumenta a concentração de metais pesados nos lixiviados (Castelo-Branco, 2012, p. 65).

1.2. Substrato Técnico Ótimo

Estudos referem que um substrato técnico ótimo deverá ser constituído pela seguinte mistura:

- 45% de areia esterilizada e com partículas de dimensão homogénea;
- 45% de xisto, ardósia ou argila expandidos (de *pellets* em partes iguais de 2-4 mm, 4-8 mm e 8-16 mm);
- 10% de húmus (50% de 3,2 mm e 50% de 6,4 mm) (Osmundson, 1999, p. 177). Note-se que um nível elevado de matéria orgânica não é recomendado, pois a sua decomposição resultaria numa redução de volume do substrato e na lixiviação de nutrientes (Rowe, *et al.*, 2006).

Outra bibliografia afirma que um substrato técnico deverá conter 75-80% de material inerte e de 20-25% de material orgânico, de modo a que o arejamento, a drenagem da água e a retenção de nutrientes sejam eficientes (Greenroofs.com, 2016).

A mistura deverá ser entregue no local de construção da cobertura ajardinada e aplicada húmida, mas não saturada. Note-se que uma mistura seca é suscetível à erosão eólica e uma mistura saturada não permitirá um bom arejamento. Para além disto, poderá ser adicionado à mistura um fertilizante aquando da sua aplicação à cobertura ajardinada e deverá ser realizada uma irrigação cuidadosa na primeira semana (Osmundson, 1999, p. 176 e 177).

1.3. Materiais e Métodos

Pretende-se o desenvolvimento de substratos técnicos sustentáveis, compostos por materiais reciclados que, para além de permitirem a valorização de resíduos, possam substituir na totalidade o xisto, a ardósia ou a argila expandidos, que são atualmente os materiais mais utilizados e que requerem elevada energia aquando da sua produção (Michigan State University, 2016b).

Assim foram criados três substratos técnicos alternativos (os quais serão denominados A, B e C) e procedeu-se à comparação das suas características com um substrato técnico atualmente comercializado.

1.3.1. Componentes dos Substratos Técnicos a Produzir

Para a produção destes substratos técnicos ponderou-se:

- O tipo de material inerte a utilizar;
- O tipo de matéria orgânica a utilizar;
- A proporção de ambos.

Relativamente ao material inerte, depois de se analisarem algumas hipóteses, conclui-se que seria vantajosa a utilização dos seguintes componentes:

- Resíduos de Construção e Demolição (RCD);
- Tijolo danificado, impróprio para ser comercializado;
- Areia;
- Resíduos do Descasque de Madeira;
- Serrim^{iv}, sendo que a designação utilizada de serrim, foi considerada neste trabalho com uma certa abrangência, envolvendo o serrim, a serradura e pequenas aparas de madeira.

^{iv} Neste trabalho os Resíduos de Descasque de Madeira e o Serrim são considerados material inerte, na medida em que os seus nutrientes não estarão disponíveis para a planta imediatamente após a sua introdução.

Por sua vez, a matéria orgânica, que influencia a capacidade de retenção da água devido às suas propriedades de adsorção (Younga, *et al.*, 2014), é constituída pelos seguintes elementos:

- Resíduos verdes;
- Composto para plantas.

1.3.1.1. Resíduos de Construção e Demolição

O sector da construção civil é responsável por uma parte significativa dos resíduos produzidos na União Europeia, sendo que a produção anual global estimada é de 100 milhões de toneladas RCD (Agência Portuguesa do Ambiente, 2016). Para além disto de acordo com o estabelecido no ponto n.º 8, do artigo 7.º, do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, sempre que exequível, deve integrar-se numa nova obra, pelo menos, 5% de materiais reciclados ou que incorporem materiais reciclados, relativamente à quantidade total de matérias-primas usadas nessa mesma obra.

Por isto considerou-se de extrema importância a incorporação de RCD nos substratos técnicos produzidos, encontrando-se assim uma forma de valorização deste resíduo quantitativamente significativa nos Estados Membros da União Europeia, criando-se riqueza e, simultaneamente, contribuindo-se para o cumprimento do estabelecido no Decreto-Lei acima enunciado.

Os RCD utilizados são provenientes da *Jorplana Terraplanagem*, Lda. Estes resíduos estão classificados na Lista Europeia dos Resíduos (LER) com o código 17 01 07, sendo uma mistura de betão, tijolos e ladrilhos (Figura 33). Acrescenta-se que, para este resíduo, a dimensão adequada dos detritos é de 2-15mm (Younga, *et al.*, 2014).



Figura 23 – Resíduos de Construção e Demolição utilizados (Fotografia da autora).

1.3.1.2. Tijolo

Os detritos de tijolo, com o código 17 01 02 na LER, são um resíduo poroso e, consequentemente leve. Este resíduo está também abrangido pelas leis especificadas para os RCD no ponto 1.3.1.1. deste trabalho.

Devido às características referidas, este resíduo é frequentemente valorizado com recurso à sua inclusão na composição de um substrato técnico de uma cobertura ajardinada. Relativamente à dimensão adequada dos detritos a serem utilizados, estudos demonstram que detritos de pequena dimensão (2-15mm) possuem uma maior capacidade de retenção de água (+36%), em comparação com os detritos de maior dimensão, permitindo um aumento da evapotranspiração e do desenvolvimento de vegetação (+17%) (Younga, *et al.*, 2014).

No presente estudo utilizaram-se os tijolos danificados e, como tal, não comercializáveis, da *João Correia das Neves, Lda.* (Figura 34), procedendo-se assim à valorização deste resíduo.



Figura 34 – Tijolos danificados utilizados (Fotografia da autora).

1.3.1.3. Areia

Partindo da informação escrita no ponto 1.1.2., do presente capítulo deste mesmo trabalho, sabe-se que a areia é um dos materiais comumente utilizados como constituinte de um substrato técnico. A areia utilizada neste estudo é a *Lacrilar* (Figura 35), que é uma areia de dimensão média.



Figura 35 – Areia utilizada nos substratos técnicos produzidos (Fotografia da autora).

1.3.1.4. Resíduos do Descasque de Madeira

Os resíduos do descasque de madeira, com o código 03 01 01 na LER, não são considerados perigosos para o meio ambiente, porém, caso não sejam eliminados/valorizados de forma adequada, podem danificar o solo, prejudicar a regeneração natural, provocar a proliferação de pragas e doenças e aumentar o risco de incêndio (Associação Empresarial de Portugal - AEP, 2011).

A aplicação dos descasques de madeira ao solo oferece diversos benefícios, entre os quais, a proteção contra a erosão e a retenção da humidade. No caso da aplicação destes em substratos técnicos de coberturas ajardinadas podemos ainda salientar a vantagem de serem leves.

Os descasques utilizados no presente estudo serão de *Pinus pinaster* (Figura 36). Denote-se que segundo o 6º Inventário Florestal Nacional, o *Pinus pinaster*, ocupa uma área de aproximadamente 714 mil ha, que representa 23% da área arborizada nacional (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, I.P., 2013), esta espécie é utilizada para a produção de madeira e a sua casca chega a representar 20 a 40% do volume dos toros (Oliveira, 1999), pelo qual a valorização deste resíduo é de extrema importância.



Figura 36 – Descasque de *Pinus pinaster* utilizado no presente estudo (Fotografia da autora).

Optou-se pela utilização da casca de *Pinus pinaster* comercializada pela marca Siro®, cujas principais características podem ser observadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Características do descasque de *Pinus pinaster* utilizado no presente estudo (AKIa, 2016).

Propriedades	Quantidade
Granulometria	15 - 25 mm
pH em CaCl ₂	3,5 - 4,0
Matéria Orgânica	>80% em massa
N total	10 - 50 mg.L ⁻¹
P ₂ O ₅	10 - 50 mg.L ⁻¹
K ₂ O	100 - 200 mg.L ⁻¹

1.3.1.5. Serrim

O serrim é um tipo de resíduo de madeira constituído pelas partículas de pequena dimensão resultantes dos processos de transformação e corte de madeira, caracterizado na LER com o código 03 01 05. Este resíduo não é considerado perigoso, no entanto, se não lhe for conferido um destino final adequado, poderá causar impactes negativos no meio ambiente, tais como:

- Danificação do solo, proliferando pragas e doenças em florestas;
- Mitigação da regeneração natural, sendo o maior problema, o risco de incêndio;
- Afetação dos cursos de água, por deposição.

:

Ora, o serrim é leve e perene, pelo qual será um bom material a ser incorporado nos substratos técnicos a produzir, procedendo-se assim à valorização deste resíduo. O serrim utilizado no presente trabalho (Figura 37) é proveniente da *Carpintaria Poleirinho*, em Cascais e tem uma granulometria de 5 - 20 mm.



Figura 37 – Serrim utilizado nos substratos técnicos produzidos
(Fotografia da autora).

1.3.1.6. Resíduos Verdes

Atualmente, a principal valorização ambiental de resíduos urbanos biodegradáveis, onde se incluem os resíduos verdes de jardins e parques, é a produção de metano por decomposição desses mesmos resíduos em aterros; facto que, em 1995, representou cerca de 3% das emissões totais de gases com efeito de estufa na União Europeia (European Commission, 2016a). Com isto, foi imposta a diretiva 1999/31/CE, estabelecendo que os Estados-Membros deveriam reduzir em 35% a quantidade de resíduos urbanos biodegradáveis depositados em aterros até 2016 (European Commission, 2016a).

A incorporação deste resíduo nos substratos técnicos produzidos permite aumentar a presença de N nos mesmos. Salienta-se que este facto é importante para o futuro desenvolvimento da vegetação e, consequentemente, o aumento da evapotranspiração (Younga, *et al.*, 2014). Os resíduos verdes utilizados no presente estudo (Figura 38) estão catalogados na LER com o código 20 02 01 e são provenientes da *TRATOLIXO – Tratamento de Resíduos Sólidos, E.I.M., S.A.*



Figura 38 – Resíduos verdes utilizados nos substratos técnicos produzidos (Fotografia da autora).

1.3.1.7. Composto para Plantas Eco Grow®

Um dos compostos para plantas utilizado no presente estudo é o *Eco Grow®* (Figura 39), que foi escolhido após uma análise das possibilidades disponíveis no mercado, onde se ponderou a constituição, as propriedades físico-químicas e os preços dos compostos.



Figura 39 – Composto para plantas *EcoGrow®* utilizado nos substratos técnicos produzidos (Fotografia da autora).

Este composto é constituído por húmus de casca de pinheiro e resíduos florestais, turfa e fertilização organo-mineral e as suas principais características podem ser observadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Propriedades do Composto para plantas *Eco Grow*[®] (AKib, 2016).

Propriedades	Quantidades
pH em CaCl ₂	5,5 - 6,5
Matéria orgânica	> 70% em massa
N total	80 - 150 mg.L ⁻¹
P ₂ O ₅	80 - 150 mg.L ⁻¹
K ₂ O	300 - 500 mg.L ⁻¹

1.3.1.8. Composto para Plantas *Campoverde premium*[®]

O outro composto para plantas utilizado no presente trabalho é o *Campoverde premium*[®] (Figura 40). Este é produzido na Central de Digestão Anaeróbia (CDA) da Abrunheira, pertencente à *TRATOLIXO – Tratamento de Resíduos Sólidos, E.I.M., S.A* e é classificado como um “corretivo composto” de acordo com o Anexo I do Decreto-Lei nº 103/2015, de 15 de junho.



Figura 40 – Composto para plantas *Campoverde premium*[®] utilizado nos substratos técnicos produzidos (Fotografia da autora).

Na sua composição tem 94% da fração orgânica, obtida após tratamento mecânico, de Resíduos Urbanos Indiferenciados, 1,5% de Resíduos Urbanos Biodegradáveis da recolha seletiva e 4,5% Biomassa. As suas principais características podem ser consultadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Propriedades do Composto para plantas *Campoverde premium*[®] (Cortesia de *TRATOLIXO – Tratamento de Resíduos Sólidos, E.I.M., S.A.*).

Propriedades	Quantidades
Granulometria	99% Inferior a 20 mm
pH em CaCl ₂	7,9
Matéria orgânica	32,3% em massa
N total	6500 mg.L ⁻¹
P ₂ O ₅	8500 mg.L ⁻¹
K ₂ O	4500 mg.L ⁻¹
Cd	0,6 mg.kg ⁻¹ de massa seca
Pb	153,3 mg.kg ⁻¹ de massa seca
Cu	150,0 mg.kg ⁻¹ de massa seca
Cr	39,7 mg.kg ⁻¹ de massa seca
Ni	22,7 mg.kg ⁻¹ de massa seca
Zn	386,7 mg.kg ⁻¹ de massa seca

1.3.2. Substrato Técnico de Mercado

Mais uma vez após uma análise das possibilidades disponíveis no mercado, determinou-se que o substrato técnico *Siro*[®] *Roof* (Figura 41) seria o analisado neste estudo. Segundo a *Siro*[®], este substrato técnico faculta condições ideais ao desenvolvimento da vegetação em coberturas ajardinadas intensivas, semi-intensivas e extensivas e é composto à base de húmus, turfa, resíduos florestais e argila expandida de 2 a 4 mm de diâmetro (Siro, 2015).



Figura 41 – Substrato técnico *Siro*[®] *Roof* (Fotografia da autora).

1.3.3. Proporção e Custo de cada Componente nos Substratos Técnicos a Produzir

As proporções de cada componente a serem utilizadas para a elaboração dos substratos técnicos A, B e C, bem como os custos a si associados e o custo do *Siro® Roof*, podem ser observadas na Tabela 16, sendo que o preço total do substrato técnico A é de 0,74 €.Kg⁻¹, do B é de 0,91 €.Kg⁻¹ e do *Siro® Roof* é de 0,26 €.Kg⁻¹. Relativamente ao substrato técnico C, os custos não podem ser calculados, uma vez que a empresa fornecedora do composto *Campoverde premium®* não pode fornecer a informação relativa ao preço deste composto.

Tabela 16 – Percentagem de cada constituinte dos substratos técnicos A, B e C e custos a si associados.

Componente			Quantidade (%)	Custo de cada componente (€.Kg ⁻¹)	Custo total (€.Kg ⁻¹)
Substrato Técnico A	Material inerte	RCD	20	0	0,74
		Tijolo triturado	20	0	
		Areia	30	0,50	
		Serrim	10	0	
	Matéria orgânica	Resíduos verdes	10	0	
		Composto para plantas <i>Eco Grow®</i>	10	0,24	
Substrato Técnico B	Material inerte	RCD	20	0	0,91
		Tijolo triturado	20	0	
		Areia	30	0,50	
		Resíduos de descasque de madeira	10	0,41	
	Matéria orgânica	Resíduos verdes	10	0	
		Composto para plantas <i>Eco Grow®</i>	10	0,24	
Substrato Técnico C	Material inerte	RCD	20	0	—
		Tijolo triturado	20	0	
		Areia	30	0,50	
		Serrim	10	0	
	Matéria orgânica	Resíduos verdes	10	0	
		Composto para plantas <i>Campoverde premium®</i>	10	—	
<i>Siro® Roof</i>		—	—	—	0,26

Denote-se que, apesar das constituições escolhidas e acima referidas para os substratos técnicos A, B e C, poderiam ter-se escolhido outro tipo de resíduos, desde que fossem cumpridas as percentagens de materiais orgânicos e minerais aconselháveis, bem como os outros parâmetros referidos.

1.3.4. Produção dos Substratos Técnicos

A experiência que serve esta dissertação foi realizada no Instituto Superior de Agronomia e teve início em 05 de dezembro de 2016 e término em 11 de janeiro de 2017.

Os detritos de tijolo, bem como os detritos de RCD foram obtidos por trituração manual com um martelo, de modo a ficarem homogêneos e com as dimensões adequadas (2-15mm) (Figura 42).



Figura 42 – Detritos de RCD (à esquerda) e detritos de tijolo (à direita) após terem sofrido trituração manual (Fotografia da autora).

Os resíduos verdes foram primeiramente cortados manualmente com uma tesoura de poda e, de seguida, sofreram uma trituração mecânica até ser atingido um aspeto homogêneo como o observável na Figura 43.



Figura 43 – Aspeto final dos resíduos verdes (Fotografia da autora).

Relativamente à areia, ao serrim e a ambos os compostos não foi necessária nenhuma preparação prévia antes da sua utilização nos substratos técnicos A, B e C. Assim, prepararam-se as misturas tendo em conta as quantidades referidas na Tabela 16 obtendo-se os substratos técnicos observáveis na Figura 44.



Figura 44 – Substratos técnicos A, B e C (da esquerda para a direita) produzidos no presente estudo (Fotografia da autora).

1.3.5. Análise dos Substratos Técnicos

Para a análise dos substratos técnicos produzidos no presente estudo, bem como do substrato técnico de mercado seguiram-se os requisitos da *FLL*, face a inexistência a nível nacional de normas aplicáveis às coberturas ajardinadas (salvaguardando os Municípios do Barreiro e de Almada como anteriormente referido). Assim, procedeu-se à análise dos seguintes parâmetros comparando-se, posteriormente, os valores obtidos entre si e com os valores referidos no ponto 1.2.6., do Capítulo IV, do presente trabalho (que também se encontram no Anexo III, resumidos numa tabela):

- Distribuição granulométrica;
- Conteúdo em matéria orgânica;
- Permeabilidade à água;
- Capacidade de retenção de água;
- Arejamento;
- Massas volúmicas aparente e de saturação (apesar de estas não estarem tabeladas pela *FLL*, as análises às mesmas permitem o cálculo de alguns parâmetros tabelados e ajudam à discussão);
- pH em água e em KCl;
- N total;
- K₂O extraível;
- P₂O₅ extraível.

Refira-se que apesar da análise dos seguintes parâmetros ser também aconselhada pela *FLL*, os mesmos não foram avaliados pelas razões abaixo explicadas:

- Dimensão dos agregados, pela sua inexistência nos substratos técnicos produzidos no presente trabalho;
- Conteúdo em sais e em Mg, porque, uma vez que os substratos técnicos têm valores de matéria orgânica humificada e de argila muito baixos, a sua Capacidade de Troca Catiónica será também insignificante.

Considerou-se também importante que se efetuasse uma análise quantitativa de alguns metais pesados, nomeadamente Cd, Cu, Ni, Pb, Zn e Cr, presentes nos substratos técnicos produzidos e no substrato técnico de mercado. Uma vez que, também neste parâmetro não existe legislação regulamentadora, seguiram-se os valores limite estipulados para a concentração de metais pesados em solos agrícolas definidos no quadro nº1, do anexo I, do Decreto-Lei n.º 276/2009, que pode ser encontrado no Anexo IV do presente trabalho. Denote-se que apesar do mercúrio (Hg) também estar presente na referida tabela, não se pode inferir sobre o mesmo no presente trabalho, por não se possuírem meios laboratoriais.

Acrescenta-se que relativamente ao substrato técnico *Siro® Roof*, as únicas análises efetuadas foram as relativas aos metais pesados, pois todos os outros resultados foram fornecidos pela própria *Siro®*.

Os métodos laboratoriais utilizados para determinar os parâmetros acima apresentados encontram-se sintetizados na Tabela 17. Acrescenta-se que para cada um dos substratos realizaram-se três repetições e que as unidades escolhidas para a expressão dos resultados vão de encontro ao sugerido pela *FLL*.

Tabela 17 – Métodos laboratoriais utilizados para a análise dos substratos técnicos.

Parâmetro Analisado	Expressão dos Resultados	Método Utilizado
Distribuição granulométrica	% em massa	A areia grossa foi determinada por crivagem, a areia fina por sedimentação e decantação, e o limo e a argila por pipetagem, tendo sido as sedimentações controladas através da aplicação da lei de Stokes e a pipetagem realizada com uma pipeta de Robinson (Póvoas & Barral, 1992)
Matéria Orgânica	% em massa	Método de “combustão por via húmida” (método de <i>Springer & Klee</i>) em que matéria orgânica é oxidada com dicromato de potássio em excesso, em meio sulfúrico, à temperatura de 157-160°C, sendo este doseado por um agente redutor de sulfato ferroso de título conhecido (Póvoas & Barral, 1992)
Permeabilidade à água	cm.s ⁻¹	Recurso a permeâmetros de vidro, seguido de aplicação da Lei de <i>Darcy</i>
Capacidade de retenção de água	% em volume	Método gravimétrico: determinação em laboratório do peso das amostras antes e depois de as secar em estufa a 105±3° C até peso constante
Massa volúmica aparente	Kg.m ⁻³	Razão entre a massa de substrato técnico seco contido num cilindro metálico (após secagem em estufa a 105 ° C±3° C, até peso constante) e o volume interno desse cilindro. Atendendo a que os cilindros utilizados não eram homogêneos, o volume interno de cada um foi estimado através da medição, com uma craveira, de três valores de altura e outros tantos de diâmetro, sendo os cálculos de volume realizados com os valores médios assim obtidos
Massa volúmica de saturação	Kg.m ⁻³	Calculada com recurso ao teor de humidade e à massa volúmica aparente
Arejamento	% em volume	Determinação do volume de poros de diâmetro grosseiro, por subtração da microporosidade à porosidade total
pH em água e em KCl		Suspensão dos substratos técnicos em água e em solução de KCl 1 M (suspensões 1:2,5), pelo método eletrométrico, utilizando um potenciômetro digital modelo 632 da marca <i>Metrohm</i> , com precisão até 0,01. Apesar dos valores tabelados pela <i>FLL</i> corresponderem ao pH em CaCl ₂ , podem comparar-se os resultados obtidos com estes. Pois, no caso dos substratos A, B e C, a diferença entre os valores de pH em água, em KCl e em CaCl ₂ não deve ser significativa, uma vez que estes substratos têm valores de matéria orgânica humificada e de argila muito baixos, pelo que a Capacidade de Troca Catiónica dos mesmos é, também, insignificantes
Azoto total	mg.L ⁻¹	Determinado utilizando o sistema de digestão <i>Kjeltec Auto 1030 Analyser</i> , baseado no método de <i>Kjeldahl</i> (Bremner & Mulvaney, 1982, pp. 595-624)
Potássio Extraível	mg.L ⁻¹	O fósforo e o potássio foram extraídos a partir de amostras de 2,5 g, com solução de lactato de amónio e ácido acético a pH 3,7-3,8 (método de <i>Egner-Riehm</i>), sendo após filtração quantificados no extrato obtido, respetivamente por colorimetria – utilizando um aparelho modelo <i>SP8-400 UV/VIS</i> da marca <i>Pye Unicam</i> , regulado para um comprimento de onda de 882 nm –e por espectrofotometria de absorção atómica (Lucas & Sequeira, 1976, pp. 163-169)
Fósforo Extraível	mg.L ⁻¹	
Metais pesados (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn e Cr)	mg.kg ⁻¹ matéria seca	Digestão ácida em micro-ondas com 7,5 ml de ácido nítrico e 2,5 ml de ácido clorídrico, seguida de determinação por espectrofotometria de absorção atómica com chama

1.4. Resultados

Os resultados obtidos em todas as análises efetuadas para os substratos técnicos A, B, C e os resultados fornecidos pela *Siro®* para o substrato técnico *Siro® Roof*, bem como os resultados das análises aos metais pesados acima referidos deste mesmo substrato, podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados obtidos para substratos técnicos A, B, C e para o substrato técnico *Siro® Roof*.

			Resultados			
Substrato			A	B	C	Siro® Roof
Fração grosseira			0	0	0	0
Distribuição granulométrica ^v (% em massa)	Fração Fina	Areia Grossa	97,30	97,30	97,30	-
		Areia Fina	1,43	1,43	1,43	-
		Limo	0,72	0,72	0,72	≤10% ^{vi}
		Argila	0,54	0,54	0,54	
Matéria Orgânica (% em massa)			16,37	14,97	12,30	≤70 ^{vi}
Permeabilidade à água (cm.s ⁻¹)			0,273	0,148	0,147	0,0005-0,667 ^{vi}
Capacidade de retenção de água (% em volume)			36	44	46	20-45 ^{vi}
Arejamento (% em volume)			45	27	32	24
Massa volúmica aparente (kg.m ⁻³)			449	688	559	450-500 ^{vi}
Massa volúmica de saturação (kg.m ⁻³)			813	1128	1018	650-700 ^{vi}
pH	Em CaCl ₂		-	-	-	5,5-6,5 ^{vi}
	Em KCl		7,35	7,16	7,60	-
	Em água		7,92	7,58	7,93	-
Azoto total (mg.L ⁻¹)			314,5	495,4	525,8	80-175 ^{vi}
Potássio extraível (mg.L ⁻¹)			3,5	0,0	0,0	300-500 ^{vi}
Fósforo extraível (mg.L ⁻¹)			59,6	93,1	291,8	150-300 ^{vi}
Metais pesados (mg.kg ⁻¹ matéria seca)	Cd		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
	Cu		7,1	6,7	21,1	9,6
	Ni		<0,1	0,5	0,4	0,3
	Pb		13,8	13,9	37,4	7,1
	Zn		20,7	17,5	41,2	13,9
	Cr		7,7	4,9	6,7	4,0

^v Nos substratos A, B e C esta análise foi feita apenas a mistura da componente inerte (tijolo, RCD e areia), que é comum aos três substratos.

^{vi} Valores fornecidos pela *Siro®*.

1.5. Discussão

Depois de se terem obtido os resultados das análises acima referidas, poderá agora proceder-se à discussão dos mesmos. Quanto à distribuição granulométrica e, avaliando a fração mais relevante para as análises de um substrato técnico segundo a *FLL* (fração limo + argila), obteve-se que os substratos técnicos A, B e C possuem 1,26% em massa da mesma e que, por sua vez, o substrato técnico *Siro® Roof*, segundo informação cedida pela própria *Siro®*, tem valores iguais ou inferiores 10% em massa. Como antes referido a *FLL* aconselha que não sejam excedidos os valores de 20% em massa de limo e argila para coberturas ajardinadas intensivas e de 7% a 15% em massa para extensivas. Deste modo pode afirmar-se que todos os substratos técnicos em estudo estão dentro dos valores aconselhados pela *FLL*.

Esta quantidade relativamente baixa de limo e argila é essencial num substrato técnico de uma cobertura ajardinada. Note-se que as partículas de limo e de argila são potenciais causadoras da obstrução da camada filtrante deste tipo de coberturas. Pois, como antes referido no Capítulo V, estas partículas aumentam o risco de má drenagem da água e da consequente formação de lama, que poderá causar excesso de carga e, na pior das hipóteses, o colapso da cobertura. No caso de excesso de partículas de argila, o substrato técnico tende ainda a sofrer compactação, retendo demasiada humidade.

Por outro lado, sabe-se que quando o teor de limo e argila de um substrato é muito baixo, a retenção de água ficará prejudicada, bem como a retenção de nutrientes, levando a que estes sejam perdidos por lixiviação. Assim, o uso de um sistema de drenagem e retenção da água adequado será essencial, de modo a que a água e os nutrientes possam ser armazenados e posteriormente utilizados pelas plantas.

Ainda no parâmetro distribuição granulométrica é importante afirmar que o elevado conteúdo em areia, como no caso dos substratos técnicos A, B e C (98,73%), poderá também causar uma drenagem demasiado rápida e uma reduzida retenção de nutrientes (Osmundson, 1999, p. 175), pelo qual, mais uma vez se reforça a ideia da importância do uso de um sistema de drenagem e retenção da água adequado. A drenagem destes substratos técnicos será discutida mais adiante.

Relativamente ao conteúdo em matéria orgânica o substrato técnico A possui 16,37% em massa, o B 14,97% em massa e o C 12,30% em massa, por sua vez, a informação fornecida pela *Siro®* afirma que o seu substrato possui um teor inferior a 70% em massa. Ora, observando os quatro casos, os valores que mais se aproximam do aconselhável pela *FLL* (valores que vão dos 4% aos 12% em massa, em função do tipo de cobertura ajardinada) são os relativos aos substratos produzidos no presente estudo.

Acrescenta-se que, apesar dos valores obtidos para os substratos técnicos A, B e C serem próximos, pode afirmar-se que o substrato C contém valores de matéria orgânica ideais (segundo os parâmetros da *FLL*) para a utilização em coberturas ajardinadas Intensivas. Note-se que a composição deste substrato técnico difere da composição do substrato técnico A, por conter o composto para plantas *Campoverde premium*[®] em vez do *Eco Grow*[®] e do B por conter serrim em vez de resíduos do descasque de madeira. Justifica-se que os valores de matéria orgânica de C sejam mais baixos do que os de A, uma vez que o composto para plantas *Campoverde premium*[®] possui menos matéria orgânica (32,3% em massa) do que o *Eco Grow*[®] (> 70%). Relativamente ao substrato técnico B, o maior teor de matéria orgânica comparativamente ao substrato C, terá sido causado pelo elevado teor de matéria orgânica presente nos resíduos de descasque de madeira utilizados (casca de *Pinus pinaster*, com mais de 80% em massa de matéria orgânica).

Apesar das conhecidas propriedades da matéria orgânica que conferem aos solos diversos benefícios, ente os quais a elevada capacidade de retenção de água e a estabilização dos agregados do solo (Southern Extension and Research Activity Information Exchange Group, 2014), salienta-se que, como anteriormente referido, um elevado teor de matéria orgânica não é aconselhável neste tipo de substratos, pois a sua decomposição resultaria numa redução de volume dos mesmos e na consequente lixiviação de nutrientes (Rowe *et al.*, 2006).

No caso do parâmetro permeabilidade à água, correspondente à condutividade hidráulica saturada, os resultados obtidos (0,273 cm.s⁻¹ no A, 0,148 no B, 0,147 no C e entre 0,0005 e 0,667 cm.s⁻¹ no *Siro*[®] Roof) indicam que tanto os 3 substratos técnicos produzidos no presente trabalho, bem como o substrato técnico da *Siro*[®] respeitam o aconselhado pela *FLL*, pois são superiores a 0,1 cm.s⁻¹. Note-se que estes valores poderão ser ajustados, tendo em conta o tipo de camada de drenagem e o sistema de drenagem e de retenção da água a utilizar.

A capacidade de retenção de água corresponde à microporosidade, sendo que um poro é considerado micróporo quando possui um diâmetro inferior a 30 µm (Brady & Weil, 2002). A capacidade de retenção de água em percentagem por volume do substrato técnico A é de 36%, por sua vez a do B é de 44%, do C é 46% e do *Siro*[®] Roof é entre 20% e 45%. A *FLL* aconselha que numa cobertura ajardinada intensiva a capacidade de retenção de água seja igual ou superior a 45% em volume, numa cobertura ajardinada extensiva com construção *multiple-course* seja igual ou superior a 35% em volume e numa cobertura ajardinada extensiva com construção *single-course* seja igual ou superior a 20% em volume.

Assim pode afirmar-se que os substratos técnicos A e B pode ser utilizados, segundo o aconselhado pela *FLL*, em coberturas ajardinadas extensivas com construções *multiple-course* e *single-course*. Relativamente ao substrato técnico C, este respeita o aconselhado pela *FLL*, podendo ser utilizado nos tipos de coberturas ajardinadas referidas pela *Guideline*, pois possui

uma capacidade de retenção de água acima de 20%. Por sua vez os resultados fornecidos pela *Siro*[®] correspondem a uma gama de valores entre os 20% e os 45%, o que dificulta a sua análise; se for considerado o mínimo valor (20% em volume) pode afirmar-se que o *Siro*[®] *Roof* só é indicado para coberturas ajardinadas extensivas com construção *single-course*, porém caso se considere o máximo valor (45% em volume) o mesmo já será indicado para todos os tipos de coberturas ajardinadas referidas pela *FLL*.

Acrescenta-se ainda que esta característica é importante a nível económico, na medida em que uma boa capacidade de retenção em água permite reduzir os custos em rega, diminuindo, consequentemente, o custo total associado a uma cobertura ajardinada.

O arejamento dos substratos técnicos em estudo foi avaliado pelo volume de macroporos, obtendo-se os seguintes resultados em percentagem por volume: para o substrato técnico A 45%, para o B 27%, para o C 32% e para o *Siro*[®] *Roof* 24%. Analisando os valores aconselhados pela *FLL*, que indicam que uma cobertura ajardinada intensiva deverá possuir 20% em volume de macroporos e uma extensiva deverá conter 25% em volume de macroporos, pode afirmar-se que os substratos técnicos B e *Siro*[®] *Roof* se aproximam do aconselhado, enquanto A e C o excedem.

A macroporosidade é importante para a rápida drenagem do excesso de água no substrato após forte precipitação ou irrigação excessiva, permitindo que o ar, essencial para a função da raiz, retorne ao solo (Sheard, s. d.). Porém, quando demasiado elevada, causará uma baixa capacidade de retenção de água, pelo qual se deverá atingir um equilíbrio entre estes dois parâmetros. Deve ainda acrescentar-se que o espaço poroso afeta e é afetado por diversos fatores, como o movimento da água e do ar, o transporte e as reações dos elementos químicos, as raízes das plantas e a microfauna (Nimmo, 2004), pelo que dependerá das condições do local onde a cobertura ajardinada é instalada.

Note-se que um bom substrato técnico deverá possuir elevado teor em materiais porosos e baixo teor em matéria orgânica, de modo a que o equilíbrio entre massa, volume e desempenho seja mantido. Além disso, o desenvolvimento de substratos mais leves permitirá a requalificação de um maior número de coberturas em coberturas ajardinadas, permitindo até a inserção de maiores profundidades de substrato, sem requerer dispendiosas modificações estruturais nos edifícios e outras estruturas abaixo dessas mesmas coberturas.

Assim, relativamente à massa volúmica aparente obtiveram-se os seguintes resultados: 449 kg.m⁻³ em A, 688 kg.m⁻³ em B, 559 kg.m⁻³ em C e a *Siro*[®] forneceu a informação de que no *Siro*[®] *Roof* se tem entre 450 a 500 kg.m⁻³. Por sua vez, em relação à massa volúmica de saturação tem-se: 813 kg.m⁻³ em A, 1128 kg.m⁻³ em B, 1018 kg.m⁻³ em C e 650 a 700 kg.m⁻³ no *Siro*[®] *Roof*. Observa-se que o substrato técnico B é o que apresenta maiores massas

volúmicas aparente e de saturação, sendo seguindo pelo substrato técnico C. Estes valores devem ser considerados, de modo a que a carga máxima da cobertura não seja ultrapassada, o que poderia ser problemático causando, na pior das hipóteses, o desabamento da cobertura.

Quanto ao pH dos substratos técnicos A, B e C é importante, antes de mais, submeter que os valores das análises em água, em KCl e em CaCl_2 podem ser comparados, pois como acima referido, estes substratos têm teores de matéria orgânica humificada e de argila muito baixos, pelo qual a Capacidade de Troca Catiónica dos mesmos é insignificante, causando variações nos resultados também elas insignificantes.

Assim pode afirmar-se que tanto os valores de pH dos substratos A (pH em água = 7,92; pH em KCl = 7,35), B (pH em água = 7,58; pH em KCl = 7,16) e C (pH em água = 7,93; pH em KCl = 7,60), como os valores fornecidos pela *Siro*[®] (5,5 < pH em CaCl_2 < 6,5), relativamente ao seu substrato, respeitam o aconselhado pela *FLL* (5,5 < pH em CaCl_2 < 9,5). É ainda possível afirmar que os substratos técnicos produzidos neste trabalho pouco variam entre si em termos de pH, pelo que os elementos em que as suas constituições diferem não influenciam significativamente este parâmetro.

A determinação do pH é importante na medida em que permite avaliar a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. No caso dos substratos técnicos produzidos no presente estudo, o pH próximo da neutralidade permite que os nutrientes principais para as plantas, nomeadamente, azoto, fósforo e potássio estejam disponíveis para as mesmas, como pode ser comprovado na imagem do Anexo V.

As análises efetuadas ao azoto total presente nos substratos técnicos A, B e C indicam que os mesmos possuem respetivamente, 314,5 mg.L⁻¹, 495,4 mg.L⁻¹ e 525,8 mg.L⁻¹. Relativamente ao *Siro*[®] Roof a informação disponibilizada indica valores de 80 mg.L⁻¹ a 175 mg.L⁻¹. Ora, sendo o valor aconselhado pela *FLL* menos do que 80 mg.L⁻¹, os substratos técnicos A, B e C excedem o mesmo e o *Siro*[®] Roof encontra-se um pouco acima do aconselhado.

O substrato técnico C é o que possui valores mais elevados relativamente a este nutriente, o que é justificável pelo facto do seu integrante composto para plantas *Campoverde premium*[®] possuir um teor de azoto total de 6500 mg.L⁻¹, que é elevado comparativamente ao composto para plantas *Eco Grow*[®] (integrante dos substratos técnicos A e B) que apenas possui um teor de azoto total de 80 a 150 mg.L⁻¹.

Como se sabe o azoto é absorvido pelas plantas predominantemente sob a forma nítrica, a qual é bastante móvel no solo e, quando não assimilada, pode ser perdida por lixiviação (Southern Extension and Research Activity Information Exchange Group, 2014). Pode inferir-se que grande parte do azoto total obtido nas análises efetuadas aos substratos técnicos A, B e C

corresponderá, precisamente, à forma nítrica, pois todos estes substratos possuem reduzidos valores de argila e húmus, substâncias às quais o azoto amoniacal está adsorvido. Este facto poderá ser apenas problemático caso a vegetação das coberturas ajardinadas não assimile o azoto disponível, por exemplo devido à rega ou a condições climáticas adversas (precipitação), aquando da sua inserção, havendo perdas para o ambiente.

Relativamente às análises efetuadas ao K_2O extraível obteve-se $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$ no substrato técnico A e $0,0 \text{ mg.L}^{-1}$ nos B e C e a *Siro*® forneceu a informação de que o *Siro*® Roof possui $300\text{-}500 \text{ mg.L}^{-1}$. A *FLL* aconselha valores de K_2O iguais ou inferiores a 700 mg.L^{-1} . Todos os valores respeitam o aconselhado pela *FLL*, pois esta só impõe um limite máximo, que não é excedido em nenhum dos casos, sendo que as diferentes composições dos substratos técnicos A, B e C não causam alterações significativas neste parâmetro. A carência deste nutriente nos substratos poderá ser colmatada com recurso a um fertilizante.

Em relação ao P_2O_5 extraível as análises efetuadas apresentam valores de $59,6 \text{ mg.L}^{-1}$ para A, de $93,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para B e de $291,8 \text{ mg.L}^{-1}$ para C. Por sua vez a marca *Siro*® cedeu resultados que indicam que o nível de P_2O_5 extraível no *Siro*® Roof é de 150 a 300 mg.L^{-1} . De acordo com a *FLL* o valor aconselhado para o P_2O_5 extraível é menor ou igual a 200 mg.L^{-1} , pelo qual o substrato C excede o aconselhado, enquanto o A e o B o respeitam. Relativamente ao *Siro*® Roof a gama de valores fornecida pela *Siro*® ($150\text{-}300 \text{ mg.L}^{-1}$) não permite tirar ilações conclusivas, pois demonstra que este substrato pode ou não respeitar o valor aconselhado.

O elevado teor em P_2O_5 extraível do substrato técnico C, comparativamente aos A e B, poderá dever-se ao facto do composto para plantas *Campoverde premium*®, seu integrante, possuir um teor de P_2O_5 extraível de 8500 mg.L^{-1} , enquanto o composto para plantas *Eco Grow*®, constituinte dos substratos técnicos A e B apenas conter de 80 a 150 mg.L^{-1} .

O fósforo é um elemento químico essencial ao desenvolvimento das plantas, porém, quando em excesso num substrato tem potencial poluidor, especialmente por eutrofização em águas superficiais. Por esta razão deverão ser tidos cuidados relativamente à utilização do substrato técnico C, de modo a garantir que o fósforo presente seja incorporado pela vegetação e não perdido para o meio ambiente.

É importante aprofundar a ideia acima referida de que o substrato técnico não tem de satisfazer as necessidades em nutrientes da vegetação, pois poderá ser utilizado um fertilizante aquando da aplicação do substrato técnico na cobertura ajardinada (Osmundson, 1999, p. 176 e 177). Note-se que neste caso terá de ser efetuada uma irrigação cuidadosa na primeira semana de modo a mitigar perdas de nutrientes (Osmundson, 1999, p. 176 e 177). Efetivamente, a *FLL* sugere a aplicação de um fertilizante com 15% de N, 10% de P_2O_5 e 15% de K_2O .

Relativamente aos metais pesados, o Cd é tóxico para a vegetação em pequenas concentrações e a sua disponibilidade e consequente absorção dependem da disponibilidade de certos nutrientes, bem como dos valores do pH do substrato (Pinto F. , 2011). Para este metal obteve-se que a sua quantidade é inferior a $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ em todos os substratos técnicos. Estes valores respeitam o estipulado pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 (1 mg.kg^{-1} para $\text{pH} \leq 5,5$; 3 mg.kg^{-1} para $5,5 < \text{pH} \leq 7$; 4 mg.kg^{-1} para $\text{pH} > 7$).

Por sua vez, o Cu está envolvido na respiração celular, síntese proteica, formação de sementes e produção de clorofila na vegetação (Southern Extension and Research Activity Information Exchange Group, 2014). Porém, quando em excesso interfere com a fotossíntese, a síntese do pigmento e a integridade da membrana, inibe um grande número de enzimas, os processos de fixação de azoto e o crescimento vegetativo e induz sintomas gerais de senescência (Fernandes & Henriques, 1991). Relativamente a este parâmetro obtiveram-se os seguintes resultados: para o substrato técnico A $7,1 \text{ mg.kg}^{-1}$, para o B $6,7 \text{ mg.kg}^{-1}$, para o C $21,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ e para o *Siro® Roof* $9,6 \text{ mg.kg}^{-1}$. Estes valores respeitam o estipulado pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 (50 mg.kg^{-1} para $\text{pH} \leq 5,5$; 100 mg.kg^{-1} para $5,5 < \text{pH} \leq 7$; 200 mg.kg^{-1} para $\text{pH} > 7$).

O Ni é importante para a vegetação, por exemplo, por ser cofator da enzima urease e participar no processo de fixação biológica de N. Porém, concentrações elevadas de Ni nos substratos técnicos retardariam a germinação das sementes, o desenvolvimento dos ramos, perturbariam a absorção de nutrientes pelas raízes, entre outros (Ahmad & Ashraf, 2011). Quanto a este metal pesado, o substrato técnico A possui menos de $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$, o B $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, o C $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ e o *Siro® Roof* $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$. Estes valores respeitam o estipulado pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 (30 mg.kg^{-1} para $\text{pH} \leq 5,5$; 75 mg.kg^{-1} para $5,5 < \text{pH} \leq 7$; 110 mg.kg^{-1} para $\text{pH} > 7$).

Relativamente ao Pb, o seu comportamento num substrato e a sua absorção pelas plantas são função do pH e da Capacidade de Troca Catiónica desse mesmo substrato, bem como da área de superfície radicular. A acumulação excessiva deste metal no tecido vegetal compromete várias funções morfológicas, fisiológicas e bioquímicas das plantas, como por exemplo alteração da permeabilidade da membrana celular e inibição da produção de clorofila (Pourrut, *et al.* 2011). As análises feitas ao Pb indicaram os seguintes resultados: para o substrato técnico A $13,8 \text{ mg.kg}^{-1}$, para o B $13,9 \text{ mg.kg}^{-1}$, para o C $37,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ e para o *Siro® Roof* $7,1 \text{ mg.kg}^{-1}$. Estes valores respeitam o estipulado pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 (50 mg.kg^{-1} para $\text{pH} \leq 5,5$; 300 mg.kg^{-1} para $5,5 < \text{pH} \leq 7$; 450 mg.kg^{-1} para $\text{pH} > 7$).

O Zn é necessário às plantas para a formação do amido, a síntese das proteínas e enzimas e para o desenvolvimento da raiz, sendo que a carência do mesmo provoca alterações na morfologia das folhas e na histologia das células. Todavia, quando em excesso pode provocar retardação do crescimento e clorose (Southern Extension and Research Activity Information

Exchange Group, 2014). Para este elemento obtiveram-se os seguintes resultados: para o substrato técnico A 20,7 mg.kg⁻¹, para o B 17,5 mg.kg⁻¹, para o C 41,2 mg.kg⁻¹ e para o *Siro*[®] Roof 13,9 mg.kg⁻¹. Estes valores respeitam o estipulado pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 (150 mg.kg⁻¹ para pH≤5,5; 300 mg.kg⁻¹ para 5,5 <pH≤7; 450 mg.kg⁻¹ para pH> 7).

Relativamente ao Cr, o excesso deste metal causará na vegetação a redução no crescimento e da acumulação de biomassa, a alteração dos processos fotossintéticos e do mecanismo de absorção de água e minerais (Singh, 2013). Nas análises a este metal dos substratos técnicos em estudo, obtiveram-se os seguintes resultados: para o substrato técnico A 7,7 mg.kg⁻¹, para o B 4,9 mg.kg⁻¹, para o C 6,7 mg.kg⁻¹ e para o *Siro*[®] Roof 4,0 mg.kg⁻¹. Estes valores respeitam o estipulado pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 (50 mg.kg⁻¹ para pH≤5,5; 200 mg.kg⁻¹ para 5,5<pH≤7; 300 mg.kg⁻¹ para pH>7).

É ainda importante discutir os custos associados aos substratos técnicos que foram apresentados na Tabela 16 do presente estudo. O custo total dos componentes constituintes do substrato técnico A é de 0,74 €.Kg⁻¹ e do B é de 0,91 €.Kg⁻¹; como antes referido, em relação ao substrato técnico C, o custo não pode ser calculado.

Ora o preço de venda do *Siro*[®] Roof é de 0,26 €.Kg⁻¹, o que o torna menos dispendioso do que os substratos técnicos A e B. No entanto, é necessário considerar que o custo total dos substratos técnicos A e B foi calculado através do custo de venda de uma unidade dos seus componentes constituintes, ou seja, por exemplo no caso da casca de *Pinus pinaster* comercializada pela marca *Siro*[®], o preço utilizado para o cálculo foi o preço de uma embalagem de 70L deste produto. Salienta-se que estes componentes constituintes poderão ser adquiridos a preços mais reduzidos caso sejam comprados em maior quantidade, ou seja, caso sejam comprados ao lote, em vez de à unidade, o que se refletirá na diminuição do preço dos substratos técnicos A e B.

1.6. Conclusão

Apesar das primeiras referências a coberturas ajardinadas datarem do ano 600 a.C. e das coberturas ajardinadas estarem a ganhar terreno na atualidade, a sua construção oferece ainda alguns desafios, razão que leva ao registo de alguns acidentes relacionados com a sua má construção. Ora, o componente mais incompreendido das coberturas ajardinadas é o substrato técnico, pelo qual o mesmo foi estudado no presente trabalho.

Os substratos técnicos produzidos (A, B e C), apesar de mano-faturados, são sustentáveis e integram na sua constituição diversos resíduos – RCD, tijolo danificado, Resíduos do Descasque de Madeira, Serrim e resíduos verdes – permitindo a sua valorização e criando um impacto ambiental positivo.

O xisto, a ardósia ou a argila expandidos são atualmente os materiais mais utilizados na constituição dos substratos técnicos e requerem elevado gasto energético aquando da sua produção, sendo necessários 25 anos para que as coberturas ajardinadas efetivamente compensem as substâncias poluentes libertadas. Note-se que no presente trabalho estes materiais são substituídos na totalidade, o que reforça o acima referido impacto ambiental positivo dos substratos técnicos A, B e C.

Após a análise e discussão dos resultados obtidos, verificou-se que as misturas A e B respeitam os parâmetros aconselhados pela *FLL*, com exceção do teor de azoto, que é excedido, e da capacidade de retenção em água, pelo que só são aconselhados para coberturas ajardinadas extensivas, tanto com construção *multiple-course* como *single-course*. Estes substratos respeitam também os limites para os teores de metais pesados tabelados pelo Decreto-Lei n.º 276/2009. Contudo, notam-se no substrato B elevadas massas volúmicas aparente e de saturação e no A elevado arejamento, sendo mais desfavorável a ultrapassagem dos limites observada no substrato B, uma vez que o desenvolvimento de substratos técnicos mais leves permitirá a transformação de um maior número de coberturas pré-existent em coberturas ajardinadas, sem que se efetuem grandes alterações estruturais. Acrescenta-se ainda que os custos associados aos componentes do substrato técnico A são menores do que os associados ao B.

Quanto ao substrato técnico C, este é o que respeita menos dos valores aconselhados pela *FLL*, excedendo os teores de azoto total, fósforo extraível, principalmente por o composto para plantas seu integrante apresentar valores elevados destes elementos. Este substrato também excede o arejamento aconselhado e é, de entre os substratos analisados, o segundo com massas volúmicas aparente e de saturação mais elevadas. Contudo, destaca-se o facto de este substrato apresentar valores ideais de matéria orgânica (segundo a *FLL*) para a aplicação em coberturas ajardinadas intensivas e de respeitar os teores de metais pesados tabelados pelo Decreto-Lei acima referido.

Com isto, é possível concluir que o substrato técnico A é o melhor entre os três produzidos neste trabalho, no respeitante aos parâmetros avaliados. Porém, refira-se que é necessário ter em conta, na escolha do substrato técnico mais adequado a cada situação, as condições ambientais do local onde a cobertura ajardinada será inserida. Pois, diferentes condições poderão requerer alterações na composição do substrato técnico a utilizar, não se podendo afirmar que os substratos técnicos produzidos serão adequados para todos os locais. Neste caso, outro tipo de resíduos poderão ser utilizados para a produção de um substrato técnico, desde que sejam cumpridas as percentagens de materiais orgânicos e minerais aconselháveis, bem como os outros parâmetros referidos, devendo-se repetir as análises efetuadas.

Em relação ao *Siro® Roof* pode afirmar-se que este respeita os limites de teores de metais pesados tabelados pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 e a distribuição granulométrica, permeabilidade à água e pH aconselhados pela *FLL*, sendo o teor aconselhado de azoto um pouco excedido. A avaliação dos parâmetros matéria orgânica, retenção de água e teor de fósforo torna-se pouco conclusiva devido à gama de valores fornecida pela *Siro®*.

Assim, conclui-se que A é um potencial substituto dos substratos técnicos atualmente utilizados em coberturas ajardinadas extensivas, que permite a valorização de resíduos e a substituição total dos materiais causadores de impacto ambiental negativo anteriormente referidos. Acrescenta-se ainda que de futuro, deverá ser feito um estudo onde se insira vegetação nos substratos técnicos produzidos, pois as mudanças de composição dos substratos técnicos poderão ter grandes influências sobre as propriedades e o desempenho fisiológico da componente vegetativa de uma cobertura ajardinada.

Referências Bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente. (2016). *Resíduos de Construção e Demolição*. Obtido em 24 de julho de 2016, de Agência Portuguesa do Ambiente: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=197&sub3ref=283>

Aggie Horticulture. (2016). *Ornamental Production: Growing Media*. Obtido em 24 de julho de 2016, de Texas A&M: AgriLife Extension: <http://aggie-horticulture.tamu.edu/ornamental/greenhouse-management/growing-media/>

Ahmad, S., & Ashraf, M. (2011). *Essential roles and hazardous effects of nickel in plants*. Faisalabad, Pakistan: Department of Botany, University of Agriculture.

AKÍa. (2016). *Casca Pinheiro*. Obtido em 01 de dezembro de 2016, de AKÍ: <http://www.aki.pt/jardim/manutencao-do-jardim/adubo-e-melhoramento-do-solo/correctores-de-solos/casca-de-pinheiro/CascaPinheiro15-2570L-P15389.aspx#tabButton01>

AKÍb, (2016). *Substrato Universal Eco Grow*. Obtido em 01 de dezembro de 2016, de AKÍ: <http://www.aki.pt/jardim/manutencao-do-jardim/adubo-e-melhoramento-do-solo/substratos/substrato-universal/SubstratoUniversalEcoGrow45LTS-P24586.aspx>

Anico, A. (2016). *Plantas autoctones em coberturas verdes: avaliação do desenvolvimetnto e valor estético vs. rega e tipo de substrato..* Lisboa: Instituto Superior de Agronomia - Universidade de Lisboa.

Arquitectos, G. B. (2016). *Gonçalo Byrne Arquitectos - Projetos*. Obtido em 20 de março de 2016, de Gonçalo Byrne Arquitectos: <http://www.byrnearq.com/>

Arruda, P. E. (2012). Natura Towers - ecologia, energia e eficiência num complexo de escritórios. *Renováveis Magazine - revista técnico profissional*, pp. 66-68.

Associação Empresarial de Portugal - AEP. (2011). *Resíduos Menos - Fichas Técnicas de Resíduos*. Leça da Palmeira: AEP.

Blackdown Horticultural Consultants Limited. (2006). *Brown Roofs: Definitions. Design Criteria. Specification*. Somerset, Reino Unido.

Boodram, K., et al. (2004). *An Extensive Green Roof for the ES2 Building*.

Booyesen, K. (24 de julho de 2014). *Serious about green roofs: 4 cities embracing green roofs*. Obtido em 20 de junho de 2016, de Future Cape Town: <http://futurecapetown.com/2014/07/what-green-roof-incentives-and-policies-are-international-cities-using-part-2/#.V2gTX7grLIU>

Brady, N. & Weil, R. (2002). *The Nature and Properties of Soil (13th ed)*. New Jersey: Prentice Hall.

Bremner, J. & Mulvaney, C. (1982). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin: Agronomy Monograph nº. 9 (2nd. Edition).

Breuning, J. (2008). Fire & wind on extensive green roofs. *Sixth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show* (pp. 2-3). Baltimore: Conference Proceedings.

Broili, M. (2002). Eco-roofs as a stormwater management tool Systems Design Guild April. *Newsletter of living*.

Brownroofs. (31 de março de 2016). *Green Roofs and Brown Roofs*. Obtido de Brownroofs.co.uk: <http://brownroofs.co.uk/green-roofs-and-brown-roofs/>

Castelo-Branco, M. (2012). *Coberturas Ajardinadas: Influência dos Substratos na Gestão de Águas Pluviais*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa.

Coelho, A. (2014). *Manutenção de coberturas verdes*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Costa, L. (2010). *Espaços Verdes Sobre Cobertura - Uma Abordagem Estética e Ética*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa.

Culham, A. (15 de julho de 2011). *Green & Brown*. Obtido em 11 de junho de 2016, de Whiteknights biodiversity: <http://blogs.reading.ac.uk/whiteknightsbiodiversity/2011/07/15/green-brown/>

Dunnett, N. (2006). *Plant Performance and Biodiversity - Green Roofs for Biodiversity: Reconciling Aesthetics with Ecology*. Boston: Greening Rooftops for Sustainable Communities.

Dunnett, N. & Kingsbury, N. (2008). *Planting Green Roofs and Living Walls*. London: Timber Press.

Earth Pledge. (2005). *Green Roof: Ecological Design and Construction*. Pensilvânia: Schiffer Publishing, Ltd.

EEA. (2001). *Environmental Signals environmental assessment report*. Luxemburgo.

European Commission. (09 de junho de 2016a). *Biodegradable Waste*. Obtido em 08 de novembro de 2016, de European Commission Environment: <http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/index.htm>

European Commission. (08 de junho de 2016b). *Sewage Sludge*. Obtido em 2016 de novembro de 2016, de European Commission Environment: <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/index.htm>

FAO. (2011). Water for Cities responding to the urban challenge. *World Water Day*.

Fernandes, J. & Henriques, F. S. (1991). Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *The Botanical Review*, 246–273.

Finkle, I. (1989). The Hanging Gardens of Babylon. In P. A. Clayton, & M. J. Price, *The seven Wonders of the Ancient World* (pp. 38-58). Nova Iorque: Dorset Press.

FLL. (2002). *Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green-Roof Sites*. Colmantstr: FLL.

Four Seasons Hotels Limited . (2016). *Four Seasons - Fotografias e Videos*. Obtido em 20 de março de 2016, de Four Seasons: <http://www.fourseasons.com/>

Fulcher, M. (23 de novembro de 2013). *Design flaws suspected in Riga roof collapse*. Obtido em 21 de março de 2016, de The Architect's Journal: <http://www.architectsjournal.co.uk/home/design-flaws-suspected-in-riga-roof-collapse/8655939.fullarticle>

Fundacao Calouste Gulbenkian. (2016). *Observatório dos Jardins*. Obtido em 19 de março de 2016, de Fundacao Calouste Gulbenkian: <http://www.gulbenkian.pt/>

Goldmanis, M. (28 de dezembro de 2013). *Latvian History - Latvia 2013 The Year of Struggles*. Obtido em 21 de março de 2016, de Latvian History: <http://latvianhistory.com/tag/riga-superstore-collapse/>

Google, Inc. (20 de maio de 2015). Obtido em 20 de março de 2016, de Google Earth: kh.google.com

Green Education Center. (2016). *Green Roofs*. Obtido em 1 de junho de 2016, de Green Education Center: <http://www.greeneducationcenter.com/latest-news/green-roofs/>

Green Roofs for Healthy Cities. (2016). *Green Roof Benefits*. Obtido em 14 de junho de 2016, de Green Roofs for Healthy Cities: <http://www.greenroofs.org/index.php/about/greenroofbenefits>

Green Savers. (2 de abril de 2015). *Green Savers - Eco Design e Edifícios*. Obtido em 6 de junho de 2016, de Green Savers: <http://greensavers.sapo.pt/2015/04/02/franca-telhados-de-novos-edificios-comerciais-vao-ter-de-ser-revestidos-por-plantas-ou-paineis-solares/>

Greenroofs. (2016a). *Extensive Greenroofs*. Obtido em 30 de março de 2016, de Greenroofs.com: http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/extensive_greenroofs.htm

Greenroofs. (2016b). *Intensive Greenroofs*. Obtido em 30 de março de 2016, de Greenroofs.com: http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/intensive_greenroofs.htm

Greenroofs.com. (2016). *Growth media*. Obtido em 23 de julho de 2016, de Greenroofs.com: http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/growth_media.htm

Greenroofs.com. (2015). *The GAP Headquarters, 901 Cherry*. Obtido em 20 de junho de 2016, de Greenroofs.com: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=26>

Gusta, S. (2015). *Tragedy in Zolitude – A Lesson for Contemporary Society. Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development 2015*. Latvia University of Agriculture, Jelgava, Letónia: Asta Raupelienē.

Haluschak, P. (2006). *Laboratory Methods of Soil Analysis*. Canada: Manitoba Soil Survey.

Handschuh, D. (07 de julho de 2011). *Making green roofs greener*. Obtido em 14 de junho de 2016, de The University of British Columbia: <https://news.ok.ubc.ca/2011/07/07/making-green-roofs-greener/>

Idias. (30 de dezembro de 2010). *Coberturas ajardinadas na Noruega*. Obtido em 11 de junho de 2016, de Idias: <https://tdias.wordpress.com/2010/12/30/coberturas-ajardinadas-na-noruega/telhado-verde-03/>

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, I.P. (2013). *IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal*. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.

Klett, J. (1 de outubro de 2013). *Evaluating Zeolite in an Extensive Green Roof Substrate*. Obtido em 22 de julho de 2016, de American Nurseryman: <http://www.amerinursery.com/growing/evaluating-zeolite-in-an-extensive-green-roof-substrate>

Laylin, T. (13 de março de 2013). *Aquascape Sues Over Collapse of World's Largest Sloped Green Roof Near Chicago*. Obtido em 22 de março de 2016, de inhabitat: <http://inhabitat.com/aquascape-sues-over-worlds-largest-sloped-green-roof-collapse-near-chicago/>

Lucas, M. & Sequeira, E. (1976). *Determinação do Cu, Mn, Fe, Ca, Mg, K e Na por espectrofotometria de absorção atômica e fotometria de chama*. Pedologia, 11.

Michigan State University. (2016b). *Substrates*. Obtido em 23 de julho de 2016, de Green Roof Research: <http://www.greenroof.hrt.msu.edu/research-projects/substrates.html>

Michigan State University. (2016a). *Urban Agriculture*. Obtido em 15 de junho de 2016, de Green Roof Research: <http://www.greenroof.hrt.msu.edu/research-projects/urban-agriculture.html>

Neoturf. (2012). *Coberturas ajardinadas*. Obtido em 2016 de junho de 13, de Neoturf: <http://www.neoturf.pt/pt/coberturas-ajardinadas>

Neoturf. (2013). *Neoturf - Projeto Investigação com a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*. Obtido em 20 de março de 2016, de Neoturf: <http://www.neoturf.pt/>

Nimmo, J. (2004). Porosity and Pore Size Distribution. *Elsevier*, pp. 295-303.

Oakland Museum of California. (2016). *Oakland Museum of California - Gardens*. Obtido em 19 de Março de 2016, de Oakland Museum of California: <http://museumca.org/>

Office of the Chief Building Official. (2015). *Green Roof Construction Standard: Supplementary Guidelines*. Toronto: LiveGreen.

Oliveira, Â. (1999). *Manual de Boas Práticas Florestais para o Pinheiro Bravo*. Porto: Centro Pinus.

Osmundson, T. (1999). *Roof Gardens – History, Design and Construction*. Nova Iorque. Londres: W. W. Norton & Company.

Palha, P. (julho, agosto, setembro de 2011). Coberturas ajardinadas: uma solução para as cidades? *Revista da Associação Portuguesa da Horticultura*, pp. 26-31.

Pearson, C. (2016). *Sobre Livia Tirone*. Obtido em 20 de março de 2016, de Livia Tirone — Wordpress Theme Outline: <http://liviaticirone.com/>

Peck, S. & Kuhn, M. (2000). *Design Guidelines for Green Roofs*. Toronto: Environment Canada.

Peck, S., Callaghan, C., Kuhn, M., & Bass, B. (1999). *Greenbacks from greenroofs: Forging a New Industry in Canada*. Toronto: Canada Mortgage and Housing Corp.

Peck, S. (22 de novembro de 2013). *Latvia store collapse: 'An aisle fell on me'*. Obtido em 22 de março de 2016, de BBC News: <http://www.bbc.com/news/world-25053166>

Pinto, C. (2014). *Introdução às Coberturas Ajardinadas*. Porto: Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

Pinto, F. (2011). *Avaliação da resposta ao stress oxidativo induzido por cádmio em plantas de espinafre*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa: Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Alimentar.

Pourrut, B. et al. (2011). *Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants*. Lille Cedex, France: Equipe Sols et environnement.

Póvoas, I. & Barral, M. (1992). *Métodos de análise de solos*. Lisboa: Comunicações do Instituto de Investigação Científica Tropical, série de Ciências Agrárias, 10.

PROAP - Estudos e Projectos de Arquitectura Paisagista, Lda . (2013). *Proap - Projetos*. Obtido em 20 de março de 2016, de Proap: <http://www.proap.pt/>

Raposo, F. (2013). *Manual de boas práticas de coberturas verdes: Análise de casos de estudo*. Lisboa: Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa.

Red Rose Forest. (2014). *Green Roof – Green Wall Policy and Guidance*. Manchester: The University of Manchester.

Regulamento (UE) N.º 305/2011 Do Parlamento Europeu e Do Conselho. (9 de março de 2011).

Renterghem, T. & Botteldooren, D. (2010). *In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs*. Gante: Elsevier.

Rowe, D. *et al.* (2006). Assessment of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. *HortTechnology* , pp. 471-477.

Sheard. (s. d.). Soil Structure, Density and Porosity. *Sports Turf Newsletter* , 4-5.

Singh, H. (2013). *Chromium toxicity and tolerance in plants*. Chandigarh, India: Environ Chemistry Letters.

Siro. (2015). *Siro*. Obtido em 1 de 12 de 2016, de Categorias de produtos - Siro Roof: <http://www.siro.pt/profissional/produtos/6424/.siro.roof>

Skadmanis, M. (27 de novembro de 2013). *The Baltic Times*. Obtido em 22 de março de 2016, de Riga mourns Maxima roof collapse victims: <http://www.baltictimes.com/news/articles/33833/>

Southern Extension and Research Activity Information Exchange Group. (2014). *Soil Test Methods From the Southeastern United States*. Kentucky: Division of Regulatory Services, University of Kentucky.

Spotfokus. (2013). *Afaconsult - Portfólio - Passeio dos Clérigos*. Obtido em 20 de março de 2016, de Afaconsult: <http://www.afaconsult.com/>

The Begetter. (2013). *Design guidelines for green roofs*. Obtido em 21 de junho de 2016, de The Begetter: <http://www.thebegetter.com/design-guidelines-for-green-roofs/>

The Environmental Stress & Functional Ecology. (2014). *Environmental Stress & Functional Ecology, Projetos - Cobertura Ecológica da FCUL*. Obtido em 20 de março de 2016, de Environmental Stress & Functional Ecology: <http://ecofun.fc.ul.pt/>

The Potash Development Association. (2011). *Soil Analyses: Key to Nutrient Management Planning*. Reino Unido e Irlanda: leaflet 24.

The State Hermitage Museum. (2016). *Explore The Hermitage*. Obtido em 19 de março de 2016, de The Hermitage Museum: <https://www.hermitagemuseum.org>

Varela, A. (2011). *A utilização de revestimentos de vegetação intensivos e extensivos em projeto de arquitetura paisagista em cobertura*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.

Walworth, J. (2006). *Soil Sampling and Analysis*. Arizona: The University of Arizona - College of Agriculture and Life Sciences.

Whittinghill, J. & Rowe, D. (2012). *The role of green roof technology in urban agriculture*. Renewable Agriculture and Food Systems.

Whittinghill, L. et al. (2013). *Evaluation of vegetable production on extensive green roofs*. Agroecology and Sustainable Food Systems.

Wong, M. (2003). *Environmental Benefits of Green Roofs*.

World Health Organization. (2016). *Public health, environmental and social determinants of health (PHE)*. Obtido em 15 de junho de 2016, de World Health Organization (WHO): http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/

World Health Organization. (abril de 2010). *Urbanization and health*. Obtido em 17 de junho de 2016, de World Health Organization: <http://www.who.int/bulletin/volumes/88/4/10-010410/en/>

Yang, J., et al. (2008). *Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago*. Elsevier.

Younga, T., et al. (2014). Importance of different components of greenroof substrate on plant. *Elsevier. Urban Forestry & Urban Greening*, pp. 507-516.

ZinCo. (2016c). *Coberturas ajardinadas semi-extensivas*. Obtido em 30 de março de 2016, de ZinCo: http://www.zinco.pt/sistemas/semi_extensivas/index.php

ZinCo. (2016a). *Coberturas ecológicas extensivas*. Obtido em 30 de março de 2016, de ZinCo: <http://www.zinco.pt/sistemas/extensivas/index.php>

ZinCo. (2016b). *Coberturas verdes intensivas*. Obtido em 30 de março de 2016, de ZinCo: <http://www.zinco.pt/sistemas/intensivas/index.php>

ZinCo. (2016e). *Intensive Rooftop Landscaping*. Obtido em 11 de junho de 2016, de ZinCo: http://www.zinco-greenroof.com/EN/greenroof_systems/intensive_green_roofs/index.php

ZinCo. (2015). *Planning Guide: Solar Energy and Green Roofs*. Germany.

ZinCo. (2016d). *ZinCo*. Obtido em 11 de junho de 2016, de Extensive Green Roofs:
http://www.zinco-greenroof.com/EN/greenroof_systems/extensive_green_roofs/index.php

ANEXOS

Anexo I

Tabela 19 – Gama de custos para a construção de uma cobertura ajardinada extensiva e principais variáveis que determinam esses custos (Adaptado de Peck & Kuhn, *Design Guidelines for Green Roofs*, 2000).

Componente		Custo	Notas e variações
a)	Design e especificações	5-10% do custo total	O número de técnicos consultados depende da dimensão e complexidade do projeto.
b)	Administração do projeto e revisão do local	2,5-5% do custo total	O número de técnicos consultados depende da dimensão e complexidade do projeto.
c)	Aplicação da camada de proteção de raízes	69,60-111,35 €.m ⁻²	Considera a remoção da cobertura existente, o tipo de cobertura a instalar e a facilidade de acesso à cobertura
d)	Sistema da cobertura ajardinada (Isolamento térmico, sistema de drenagem e de retenção da água, camada filtrante e substrato técnico)	38,28-76,56 €.m ⁻²	Considera o tipo e profundidade do substrato técnico, o tipo de membrana impermeável e a dimensão do projeto
e)	Vegetação	7,66-22,27 €.m ⁻²	Considera a época do ano, o tipo e dimensão da vegetação e a forma como será aplicada
f)	Instalação	22,27-59,85 €.m ⁻²	Considera o aluguer de equipamento para transportar os materiais para e da cobertura, a dimensão do projeto, a complexidade do <i>design</i> e as técnicas de plantação utilizadas
g)	Manutenção	9,05-14,62 €.m ⁻²	Considera a dimensão do projeto, o tempo de instalação, o sistema de irrigação e o tamanho e tipo de vegetação utilizada
h)	Sistema de irrigação	14,62-29,93 €.m ⁻²	*Opcional, pois a vegetação poderá ser regada manualmente. O custo considera os diferentes tipos de sistema que poderão ser utilizados

Anexo II

Tabela 20 – Gama de custos para a construção de uma cobertura ajardinada intensiva e principais variáveis que determinam esses custos (Adaptado de Peck & Kuhn, *Design Guidelines for Green Roofs*, 2000).

Componente		Custo	Notas e variações
a)	Design e especificações	5-10% do custo total	O número de técnicos consultados depende da dimensão e complexidade do projeto.
b)	Administração do projeto e revisão do local	2,5-5% do custo total	O número de técnicos consultados depende da dimensão e complexidade do projeto.
c)	Aplicação da camada de proteção de raízes	69,60-111,35 €/m ²	Considera a remoção da cobertura existente, o tipo de cobertura a instalar e a facilidade de acesso à cobertura
d)	Sistema da cobertura ajardinada (Isolamento térmico, sistema de drenagem e de retenção da água, camada filtrante, substrato técnico, passadiços e decks)	111.35 - 222.71 €/m ²	Considera o tipo e profundidade do substrato técnico, o tipo de membrana impermeável, o tipo de deck e a dimensão do projeto
e)	Vegetação	37.58 - 1,496.33 €/m ²	Independente do tipo e dimensão da vegetação, pois virtualmente qualquer planta adaptada às condições edafoclimáticas poderá ser aplicada
f)	Sistema de irrigação	14.62 - 29.93 €/m ²	Inclui o tipo de sistema utilizado e a dimensão do projeto
g)	Vedação	45.24 - 90.48 €/m ²	Inclui o tipo e comprimento da vedação, a sua fixação à cobertura e a dimensão do projeto
h)	Instalação	59.16 - 135.71 €/m ²	Considera o aluguer de equipamento para transportar os materiais para e da cobertura, a dimensão do projeto, a complexidade do design e as técnicas de plantação utilizadas
i)	Manutenção	9.40- 14.96 €/m ²	Considera a dimensão do projeto, o sistema de irrigação e o tamanho e tipo de vegetação utilizada

Anexo III

Tabela 21 – Valores aconselhados pela FLL para coberturas ajardinadas.

Tipo de cobertura ajardinada	Intensiva	Extensiva	
		Com construção <i>multiple-course</i>	Com construção <i>single- course</i>
Quantidade de argila e limo (% em massa)	20	7-15	
Conteúdo em matéria orgânica (% em massa)	6-12	6-8	4
Permeabilidade à Água (cm.s ⁻¹)	≥ 0,0005	≥ 0,001	≥ 0,1
Capacidade de retenção de água (% em volume)	≥ 45	≥ 35	≥ 20
Arejamento (% em volume)	20	25	
pH adequado (CaCl ₂)	5,5-8,0	6,5-8,0	6,5-9,5
N total		≤ 80	
K ₂ O extraível		≤ 700	
P ₂ O ₅ extraível		≤ 200	

Anexo IV

Parâmetro	$pH \leq 5,5$	$5,5 < pH \leq 7$	$pH > 7$ (*)
	mg/kg de matéria seca		
Cádmio.....	1	3	4
Cobre.....	50	100	200
Níquel.....	30	75	110
Chumbo.....	50	300	450
Zinco.....	150	300	450
Mercurio.....	1	1,5	2
Crômio.....	50	200	300

(*) Aplicável a solos onde se efectuem culturas com fins comerciais e destinadas unicamente ao consumo animal.

Figura 45 – Valores limite de concentração de metais pesados nos solos em função do seu pH
(Decreto-Lei n.º 276/2009).

Anexo V

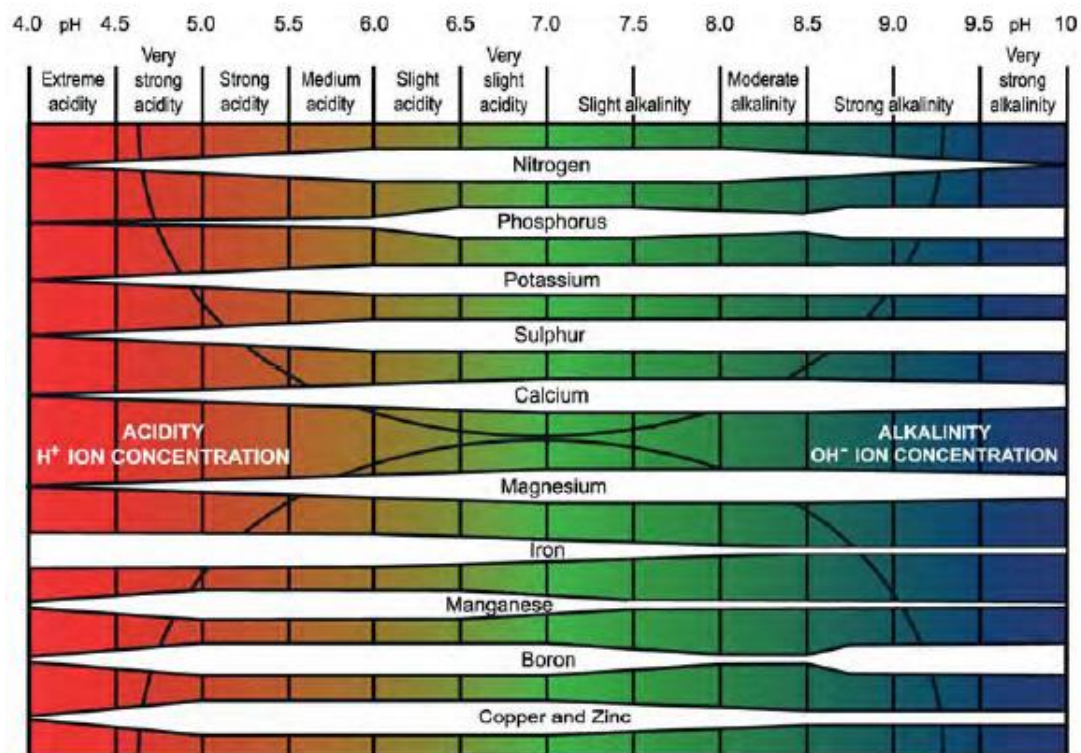


Figura 46 – Influência do pH de um substrato na disponibilidade dos nutrientes para as plantas (The Potash Development Association, 2011).